

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 8月 9日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-234045

[ST.10/C]:

[JP2002-234045]

出 願 人

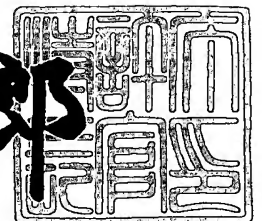
Applicant(s):

本田技研工業株式会社

2003年 3月28日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3022081

【書類名】 特許願

【整理番号】 H102149201

【提出日】 平成14年 8月 9日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 F02D 41/14

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

【氏名】 安井 裕司

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100081721

【弁理士】

【氏名又は名称】 岡田 次生

【選任した代理人】

【識別番号】 100105393

【弁理士】

【氏名又は名称】 伏見 直哉

【選任した代理人】

【識別番号】 100111969

【弁理士】

【氏名又は名称】 平野 ゆかり

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 034669

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 デシメーションフィルタを用いた内燃機関の空燃比制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 排ガスの空燃比を制御する内燃機関の制御装置であって、
排ガスの濃度を検出する第 1 の排ガスセンサと、
前記第 1 の排ガスセンサの出力に接続されたデシメーションフィルタと、
前記デシメーションフィルタから出力された値が目標値に収束するよう、前記
排ガスの空燃比を操作する操作量を決定する操作量決定手段と、を備え、
前記デシメーションフィルタは、
前記操作量を算出する周期よりも速い周期で、前記第 1 の排ガスセンサの出力
をオーバーサンプリングする手段と、
前記オーバーサンプリングしたサンプル値をローパスフィルタによって平滑す
る手段と、
前記平滑されたサンプル値を、前記操作量を算出する周期でリサンプリングす
る手段と、
前記リサンプリングされた値を出力する手段と、を備える、
内燃機関の制御装置。

【請求項 2】 前記操作量は、応答指定型制御によって決定される、請求項 1 に記
載の制御装置。

【請求項 3】 前記操作量は、 $\Delta\Sigma$ 変調、 Δ 変調、および $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムの
いずれかを用いた制御によって決定される、請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 4】 前記空燃比の制御対象は、触媒装置と前記第 1 の排ガスセンサを含
む排気系であり、
さらに、前記デシメーションフィルタから出力された値に基づいて前記制御対
象におけるむだ時間を決定し、該決定されたむだ時間が補償されるよう前記第 1
の排ガスセンサの出力の推定値を算出する推定値算出手段を備え、
前記操作量決定手段は、前記算出された推定値に基づいて、前記排気系に進入
する排ガスの空燃比を操作する操作量を決定する、請求項 1 から請求項 3 のいず
れかに記載の制御装置。

【請求項 5】前記空燃比の制御対象は、さらに、前記操作量を決定する手段から前記内燃機関を経て前記触媒装置の前に設けられた第 2 の排ガスセンサまでの空燃比操作系を含み、

前記推定値算出手段は、さらに、前記空燃比操作系におけるむだ時間を決定し、決定された前記排気系におけるむだ時間および該空燃比操作系におけるむだ時間が補償されるよう前記推定値を算出する、請求項 4 に記載の制御装置。

【請求項 6】さらに、前記操作量を決定する際に用いられる、前記排気系の状態変化に前記空燃比の操作を適合させるためのパラメータを算出するパラメータ算出手段を備え、

前記パラメータ算出手段は、前記デシメーションフィルタから出力された値に基づいて、前記パラメータを算出する、請求項 4 または請求項 5 に記載の制御装置。

【請求項 7】前記ローパスフィルタのカットオフ周波数は、触媒装置の故障検知において使用する周波数よりも高い周波数に設定される、請求項 1 から請求項 6 のいずれかに記載の制御装置。

【請求項 8】排ガスの空燃比を制御する内燃機関の制御装置であって、

排気管の触媒装置の下流側に設けられ、排ガスの濃度を検出する第 1 の排ガスセンサと、

前記触媒装置の上流側に設けられ、排ガスの空燃比を検出する第 2 の排ガスセンサと、

前記第 2 の排ガスセンサの出力に接続されたデシメーションフィルタと、

前記デシメーションフィルタから出力された値を用いて、前記第 1 の排ガスセンサの出力が目標値に収束するよう、前記空燃比を操作する操作量を決定する操作量決定手段と、を備え、

前記デシメーションフィルタは、

前記操作量を算出する周期よりも速い周期で、前記第 2 の排ガスセンサの出力をオーバーサンプリングする手段と、

前記オーバーサンプリングしたサンプル値をローパスフィルタによって平滑する手段と、

前記平滑されたサンプル値を、前記操作量を算出する周期でリサンプリングする手段と、

前記リサンプリングされた値を出力する手段と、を備える、
内燃機関の制御装置。

【請求項 9】前記操作量は、応答指定型制御によって決定される、請求項 8 に記載の制御装置。

【請求項 10】前記操作量は、 $\Delta\Sigma$ 変調、 Δ 変調、および $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムのいずれかを用いた制御によって決定される、請求項 8 に記載の制御装置。

【請求項 11】前記空燃比の制御対象は、前記第 2 の排ガスセンサから、前記触媒装置を経て前記第 1 の排ガスセンサまでの排気系であり、

さらに、前記デシメーションフィルタから出力された値に基づいて前記制御対象におけるむだ時間を決定し、該決定されたむだ時間が補償されるよう前記第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を算出する推定値算出手段を備え、

前記操作量決定手段は、前記算出された推定値に基づいて、前記排気系に進入する排ガスの空燃比を操作する前記操作量を決定する、請求項 8 から請求項 10 のいずれかに記載の制御装置。

【請求項 12】前記空燃比の制御対象は、さらに、前記操作量を決定する手段から前記内燃機関を経て前記第 2 の排ガスセンサまでの空燃比操作系を含み、

前記推定値算出手段は、さらに、前記空燃比操作系におけるむだ時間を決定し、決定された前記排気系におけるむだ時間および該空燃比操作系におけるむだ時間が補償されるよう前記推定値を算出する、請求項 11 に記載の制御装置。

【請求項 13】さらに、前記操作量を決定する際に用いられる、前記排気系の状態変化に前記空燃比の操作を適合させるためのパラメータを算出するパラメータ算出手段を備え、

前記算出手段は、前記デシメーションフィルタから出力された値に基づいて、前記パラメータを算出する、請求項 11 または請求項 12 に記載の制御装置。

【請求項 14】前記ローパスフィルタのカットオフ周波数は、前記触媒装置の故障検知において使用する周波数よりも高い周波数に設定される、請求項 8 から請求項 13 のいずれかに記載の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、内燃機関の排気系に設けられた排ガスセンサの出力に基づいて空燃比を制御する制御装置に関する。

【0002】

【従来技術】

内燃機関の排気系には、触媒装置が設けられている。触媒装置は、内燃機関に供給される混合気の空燃比がリーンるとき、排気ガス中に存在する過剰の酸素でHCおよびCOを酸化し、空燃比がリッチるとき、HCおよびCOによってNO_xを還元する。空燃比が理論空燃比領域にあるとき、HC、COおよびNO_xが同時にかつ効果的に浄化される。

【0003】

触媒装置の下流には、排ガスセンサが設けられる。排ガスセンサは、排気系に排気されたガス中の酸素濃度を検出する。排ガスセンサの出力に基づいて、内燃機関の空燃比のフィードバック制御が実施される。

【0004】

空燃比のフィードバック制御の一例として、特開平11-153051公報には、切換関数を設定する応答指定型制御が提案されている。この制御は、該切換関数の値をゼロに収束することによって、排ガスセンサの出力を所定の目標値に収束させる。排ガスセンサの出力を所定の目標値に収束させるための操作量（目標空燃比）が算出される。該操作量に応じて、内燃機関への燃料供給量が制御される。操作量の算出には、排ガスセンサの出力と、触媒装置の上流に設けられた空燃比（LAF）センサの出力が用いられる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

最近、触媒劣化を検知する精度を安定化させるため、およびNO_x排出量を低減させるため、排ガスセンサの素子の応答性を速める傾向にある。素子の応答を速めた排ガスセンサの出力には、ケミカルノイズと呼ばれる高周波成分が混入す

ることがある。このケミカルノイズの影響により、排ガスセンサの出力に基づいて算出される目標空燃比に振動が生じ、触媒に流入する排ガスの空燃比に大きな変動を引き起こすことがある。これは、触媒浄化率を低下させるおそれがある。

【 0 0 0 6 】

一方、内燃機関および触媒を保護するために、空燃比をリッチ化することがある。リッチ化によるCOの排出量を低減するために、リッチ化される空燃比を閉ループで制御したいという要望がある。さらに、燃費の向上のために空燃比をリーン化する運転状態において、リーン化される空燃比を閉ループで制御したいという要望もある。これらの要望に応えるため、空燃比を検出するLAFセンサの検知レンジを拡大させる傾向がある。

【 0 0 0 7 】

しかしながら、LAFセンサからのアナログ信号をデジタル信号に変換するA/D変換器の性能の限界により、LAFセンサによって検出される実空燃比の分解能に限界が生じる。この分解能の限界は、空燃比フィードバック制御における、目標空燃比に対する実空燃比の追従精度を低下させるおそれがある。さらに、実空燃比に対応して決定されるモデルパラメータの同定精度を低下させるおそれがある。これらの精度の低下により、触媒の浄化率が低下する。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

この発明の一つの側面によると、排ガスの空燃比を制御する内燃機関の制御装置は、排ガスの濃度を検出する第1の排ガスセンサと、該第1の排ガスセンサの出力に接続されたデシメーションフィルタと、該デシメーションフィルタから出力された値が目標値に収束するよう、排ガスの空燃比を操作する操作量を決定する操作量決定手段を備える。デシメーションフィルタは、上記操作量を算出する周期よりも速い周期で、第1の排ガスセンサの出力をオーバーサンプリングし、オーバーサンプリングしたサンプル値をローパスフィルタによって平滑し、平滑されたサンプル値を、操作量を算出する周期でリサンプリングし、リサンプリングされた値を出力するよう構成される。

【 0 0 0 9 】

この発明によると、応答性を向上させた排ガスセンサの出力に生じるおそれのあるケミカルノイズを除去することができるので、良好な精度で空燃比制御を実施することができる。

【 0 0 1 0 】

この発明の他の側面によると、排ガスの空燃比を制御する内燃機関の制御装置は、排気管の触媒装置の下流側に設けられ、排ガスの濃度を検出する第1の排ガスセンサと、該触媒装置の上流側に設けられ、排ガスの空燃比を検出する第2の排ガスセンサと、該第2の排ガスセンサの出力に接続されたデシメーションフィルタと、該デシメーションフィルタから出力された値を用いて、該第1の排ガスセンサの出力が目標値に収束するよう、空燃比を操作する操作量を決定する手段とを備える。デシメーションフィルタは、該操作量を算出する周期よりも速い周期で、第2の排ガスセンサの出力をオーバーサンプリングし、オーバーサンプリングしたサンプル値をローパスフィルタによって平滑し、平滑されたサンプル値を、操作量を算出する周期でリサンプリングし、リサンプリングされた値を出力するよう構成される。

【 0 0 1 1 】

この発明によると、デシメーションフィルタを用いることにより、第2の排ガスセンサの分解能未満の出力の挙動を推定することができる。第2の排ガスセンサにおいて不足する分解能が補われ、空燃比制御の制御性能および安定性を向上させることができる。

【 0 0 1 2 】

この発明の一実施形態によると、空燃比を操作する操作量は、応答指定型制御によって決定される。応答指定型制御により、第1の排ガスセンサの出力を、安定的かつ迅速に目標値に収束させることができる。

【 0 0 1 3 】

この発明の他の実施形態によると、空燃比を操作する操作量は、 $\Delta\Sigma$ 変調、 Δ 変調、および $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムのいずれかを用いた制御によって決定される。これらのアルゴリズムを用いた制御を実施することにより、空燃比を操作する際の精度が低い場合や制御対象における応答遅れが大きい場合でも、第1の排ガ

スセンサの出力を安定的に目標値に収束させることができる。

【 0 0 1 4 】

この発明の一実施形態によると、制御対象は、触媒装置と第 1 の排ガスセンサとを含む排気系である。排気系におけるむだ時間は、第 1 の排ガスセンサの出力に接続されたデシメーションフィルタから出力された値に基づいて決定される。排気系におけるむだ時間が補償されるよう、第 1 の排ガスセンサの出力の推定値が算出される。排気系に進入する排ガスの空燃比を操作する操作量は、該推定値に基づいて決定される。他の実施形態においては、排気系におけるむだ時間は、第 2 の排ガスセンサの出力に接続されたデシメーションフィルタから出力された値に基づいて決定される。

【 0 0 1 5 】

この発明によると、排気系におけるむだ時間を、デシメーションフィルタ処理によって生じるむだ時間を考慮したものとして求めることができるので、第 1 の排ガスセンサの出力の推定値が、振動的または不安定になることが防止される。よって、第 1 の排ガスセンサの出力を安定かつ迅速に目標値に収束させることができる。

【 0 0 1 6 】

この発明の一実施形態によると、制御対象は、さらに、空燃比を操作する操作量を決定する手段から、内燃機関を経て触媒装置の前に設けられた第 2 の排ガスセンサまでの空燃比操作系を含む。空燃比操作系におけるむだ時間が、第 1 の排ガスセンサの出力に接続されたデシメーションフィルタから出力された値に基づいて決定される。排気系のむだ時間および空燃比操作系のむだ時間が補償されるよう推定値が算出される。他の実施形態においては、空燃比操作系におけるむだ時間は、第 2 の排ガスセンサの出力に接続されたデシメーションフィルタから出力された値に基づいて決定される。排気系および空燃比操作系の両方のむだ時間を考慮することにより、第 1 の排ガスセンサの出力を、安定的に目標値に収束させることができる。

【 0 0 1 7 】

この発明の一実施形態によると、制御装置は、操作量を決定する際に用いられ

る、排気系の動特性の変化およびバラツキなどの状態変化に空燃比操作を適合させるためのパラメータを算出する。パラメータの算出は、第1の排ガスセンサの出力に接続されたデシメーションフィルタから出力された値に基づいて行われる。他の実施形態においては、該パラメータは、第2の排ガスセンサの出力に接続されたデシメーションフィルタから出力された値に基づいて算出される。この発明によると、良好な精度でパラメータを算出することができるので、第1の排ガスセンサの出力を安定かつ迅速に目標値に収束させることができる。

【 0 0 1 8 】

この発明の一実施形態によると、ローパスフィルタのカットオフ周波数は、触媒装置の故障検知において使用する周波数よりも高い周波数に設定される。こうして、触媒装置の故障検知の精度を低下させることなく、安定した空燃比制御を実施することができる。

【 0 0 1 9 】

【発明の実施の形態】

内燃機関および制御装置の構成

次に図面を参照してこの発明の実施の形態を説明する。図1は、この発明の実施形態による内燃機関（以下、「エンジン」という）およびその制御装置の全体的なシステム構成図である。

【 0 0 2 0 】

電子制御ユニット（以下、「ECU」という）5は、車両の各部から送られてくるデータを受け入れる入力インターフェース5a、車両の各部の制御を行うための演算を実行するCPU5b、読み取り専用メモリ（ROM）およびランダムアクセスメモリ（RAM）を有するメモリ5c、および車両の各部に制御信号を送る出力インターフェース5dを備えている。メモリ5cのROMには、車両の各部の制御を行うためのプログラムおよび各種のデータが格納されている。この発明に従う空燃比制御を実現するためのプログラム、および該プログラムの実行の際に用いるデータおよびテーブルは、このROMに格納されている。ROMは、EEPROMのような書き換え可能なROMでもよい。RAMには、CPU5bによる演算のための作業領域が設けられる。車両の各部から送られてくるデ

ータおよび車両の各部に送り出す制御信号は、R A Mに一時的に記憶される。

【 0 0 2 1 】

エンジン 1 は、たとえば 4 気筒を備えるエンジンである。吸気管 2 が、エンジン 1 に連結されている。吸気管 2 の上流側にはスロットル弁 3 が設けられている。スロットル弁 3 に連結されたスロットル弁開度センサ (θ T H) 4 は、スロットル弁 3 の開度に応じた電気信号を、E C U 5 に供給する。

【 0 0 2 2 】

スロットル弁 3 をバイパスする通路 2 1 が、吸気管 2 に設けられている。エンジン 1 に供給する空気量を制御するためのバイパス弁 2 2 が、バイパス通路 2 1 に設けられている。バイパス弁 2 2 は、E C U 5 からの制御信号に従って駆動される。

【 0 0 2 3 】

燃料噴射弁 6 は、エンジン 1 とスロットル弁 3 の間であって、吸気管 2 の吸気弁 (図示せず) の少し上流側に各気筒毎に設けられている。燃料噴射弁 6 は、燃料ポンプ (図示せず) に接続され、該燃料ポンプを介して燃料タンク (図示せず) から燃料の供給を受ける。燃料噴射弁 6 は、E C U 5 からの制御信号に従って駆動される。

【 0 0 2 4 】

吸気管圧力 (P b) センサ 8 および吸気温 (T a) センサ 9 は、吸気管 2 のスロットル弁 3 の下流側に設けられている。 P b センサ 8 および T a センサ 9 によって検出された吸気管圧力 P b および吸気温 T a は、それぞれ E C U 5 に送られる。

【 0 0 2 5 】

エンジン水温 (T w) センサ 1 0 は、エンジン 1 のシリンダブロックの、冷却水が充満した気筒周壁 (図示せず) に取り付けられる。 T w センサ 1 0 によって検出されたエンジン冷却水の温度 T w は、E C U 5 に送られる。

【 0 0 2 6 】

回転数 (N e) センサ 1 3 は、エンジン 1 のカム軸またはクランク軸 (共に図示せず) 周辺に取り付けられる。 N e センサ 1 3 は、たとえばピストンの T D C

位置に関連したクランク角度で出力されるTDC信号パルスの周期よりも短いクランク角度（たとえば、30度）の周期で、CRK信号パルスを出力する。CRK信号パルスは、ECU5によってカウントされ、エンジン回転数 N_e が検出される。

【0027】

エンジン1の下流側には排気管14が連結されている。エンジン1は、排気管14を介して排気する。排気管14の途中に設けられた触媒装置15は、排気管14を通る排気ガス中のHC、CO、NO_xなどの有害成分を浄化する。触媒装置15には、2つの触媒が設けられている。上流側に設けられた触媒を上流触媒と呼び、下流側に設けられた触媒を下流触媒と呼ぶ。

【0028】

広域空燃比センサ(LAF)センサ16は、触媒装置15の上流に設けられている。LAFセンサ16は、リーンからリッチにわたる広範囲の空燃比領域において、排気ガス中の酸素濃度をリニアに検出する。検出された酸素濃度は、ECU5に送られる。

【0029】

O₂（排ガス）センサ17は、上流触媒と下流触媒の間に設けられている。O₂センサ17は2値型の排気ガス濃度センサである。O₂センサは、空燃比が理論空燃比よりもリッチであるとき高レベルの信号を出力し、空燃比が理論空燃比よりもリーンであるとき低レベルの信号を出力する。出力された電気信号は、ECU5に送られる。

【0030】

ECU5に向けて送られた信号は入力インターフェース5aに渡され、アナログ-デジタル変換される。CPU5bは、変換されたデジタル信号を、メモリ5cに格納されているプログラムに従って処理し、車両のアクチュエータに送るための制御信号を作り出す。出力インターフェース5dは、これらの制御信号を、バイパス弁22、燃料噴射弁6、およびその他の機械要素のアクチュエータに送る。

【0031】

図2は、触媒装置15の構造を示す。排気管14に流入した排気ガスは、上流触媒25を通過し、その後下流触媒26を通過する。上流および下流触媒の間に設けられたO₂センサの出力に基づく空燃比制御の方が、下流触媒の下流に設けられたO₂センサの出力に基づく空燃比制御よりも、NO_xの浄化率を最適に維持しやすいことがわかっている。そのため、この発明に従う実施形態では、O₂センサ17を、上流および下流触媒の間に設ける。O₂センサ17は、上流触媒25を通過した後の排気ガスの酸素濃度を検出する。

【0032】

代替的に、O₂センサを、下流触媒26の下流に設けてもよい。また、1つの触媒によって触媒装置15が実現されている場合には、該触媒装置15の下流にO₂センサは設けられる。

【0033】

図3は、上流触媒および下流触媒の浄化の挙動を示す。ウィンドウ27は、CO、HCおよびNO_xが最適に浄化される空燃比領域を示す。上流触媒25において、排気ガス中の酸素が浄化作用に消費されるため、下流触媒26に供給される排気ガスは、ウィンドウ28によって示されるような還元雰囲気（すなわち、リッチ状態）を有している。このような還元雰囲気において、さらなる量のNO_xが浄化される。こうして排気ガスは、クリーンな状態で排気される。

【0034】

この発明に従う空燃比の適応制御は、触媒15の浄化性能を最適に維持するため、O₂センサ17の出力を目標値に収束させることにより、空燃比がウィンドウ27内に収まるようにする。

【0035】

参照番号29は、適応空燃比制御において空燃比の操作量の限界を規定する許容範囲を例示しており、これについての詳細は後述される。

【0036】

第1の実施例に従う適応空燃比制御モード

図4は、第1の実施例に従う適応空燃比制御の制御ブロック図を示す。LAFセンサ16は、上流触媒25に供給される排ガスの空燃比KACTを検出する。O₂

センサ 17 は、上流触媒 25 によって浄化された排ガスの酸素濃度を、電圧 $Vo2/OUT$ として出力する。

【0037】

O₂ センサ 17 の出力 $Vo2/OUT$ は、第 1 のデシメーションフィルタ 36 に渡される。第 1 のデシメーションフィルタ 36 は、O₂ センサ 17 の出力 $Vo2/OUT$ をオーバーサンプリングし、ローパスフィルタでフィルタリングし、ダウンサンプリングし、サンプル値 $Vo2_df$ を出力する。サンプル値 $Vo2_df$ は、目標値 $Vo2/TARGET$ と比較される。サンプル値 $Vo2_df$ と目標値 $Vo2/TARGET$ の偏差 $Vo2$ が、制御器 31 に供給される。

【0038】

適応空燃比制御の制御対象（プラント）は、LAF センサ 16 から上流触媒 25 を通って O₂ センサ 17 までの排気系 19 である。制御器 31 は、偏差 $Vo2$ に基づいて、目標空燃比偏差 $kcmd$ を求める。目標空燃比偏差 $kcmd$ を基準値 $FLAF/BASE$ に加算し、目標空燃比 $KCMD$ を求める。目標空燃比 $KCMD$ によって補正された燃料噴射量が、エンジン 1 に供給される。その後、O₂ センサ 17 の出力 $Vo2/OUT$ が再び検出される。

【0039】

このように、制御器 31 は、偏差 $Vo2$ がゼロになるよう目標空燃比 $KCMD$ を求めるフィードバック制御を実行する。制御対象である排気系 19 を、出力を $Vo2/OUT$ 、入力を LAF センサの出力 $KACT$ として、式 (1) のようにモデル化することができる。排気系 19 は離散時間系モデルとしてモデル化される。離散時間系モデルは、空燃比制御のアルゴリズムをコンピュータ処理に適した簡易なものである。

【0040】

【数 1】

$$\text{Vo2}'(k+1) = a1 \cdot \text{Vo2}'(k) + a2 \cdot \text{Vo2}'(k-1) + b1 \cdot \text{kact}(k-d3)$$

$$\text{但し、Vo2}'(k) = \text{Vo2}/\text{OUT}(k) - \text{Vo2}/\text{TARGET}$$

$$\text{kact}(k) = \text{KACT}(k) - \text{FLAF}/\text{BASE}$$

式 (1)

【0041】

k はサイクルを識別する識別子である。センサ出力偏差Vo2' は、O2 センサ出力Vo2/OUTの目標値Vo2/TARGETに対する偏差を示す。実空燃比偏差kactは、基準値FLAF/BASEに対するLAFセンサの出力KACTの偏差を示す。空燃比の基準値FLAF/BASEは、目標空燃比KCMDの中心的な値となるよう設定され、たとえば理論空燃比を示す値（すなわち、1）に設定される。基準値FLAF/BASEは、一定値でもよいし、または運転状態に応じて決めるようにしてもよい。

【0042】

d3 は、排気系19におけるむだ時間を示す。むだ時間d3は、LAFセンサ16によって検出された空燃比がO2 センサ17の出力に反映されるのに要する時間を示す。a1、a2およびb1はモデルパラメータであり、後述する同定器によって生成される。

【0043】

O2 センサ出力Vo2/OUTと、第1のデシメーションフィルタの出力Vo2_dfの関係は、式(2)のように表される。

【0044】

【数 2】

$$\text{Vo2}/\text{OUT}(k) = \text{Vo2_df}(k+d5)$$

式 (2)

【0045】

d5 は、第1のデシメーションフィルタ36におけるむだ時間を示す。むだ時間d5は、O2 センサ出力Vo2/OUTがオーバーサンプリングされ、ローパスフィ

ルタによってフィルタリングされ、ダウンサンプリングされるのに要する時間を示す。むだ時間 d_5 は、たとえば 1 制御サイクルである（すなわち、 $d_5 = 1$ ）。

【 0 0 4 6 】

排気系 1 9 および第 1 のデシメーションフィルタ 3 6 を合わせた系は、式（1）および（2）から、式（3）のように求めることができる。

【 0 0 4 7 】

【数 3】

$$Vo2(k+1) = a1 \cdot Vo2(k) + a2 \cdot Vo2(k-1) + b1 \cdot kact(k-d3-d5)$$

$$a1 \cdot Vo2(k) + a2 \cdot Vo2(k-1) + b1 \cdot kact(k-d1)$$

$$\text{但し、} Vo2(k) = Vo2_df(k) - Vo2/TARGET$$

$$kact(k) = KACT(k) - FLAF/BASE$$

$$d1 = d3 + d5$$

式（3）

【 0 0 4 8 】

このように、第 1 のデシメーションフィルタ 3 6 を設けることで、排気系におけるむだ時間が増える。

【 0 0 4 9 】

一方、エンジン 1 および ECU 5 からなる空燃比を操作する系 1 8 は、式（4）のようにモデル化されることができる。

【 0 0 5 0 】

【数 4】

$$kact(k) = kcmd(k-d2)$$

$$\text{但し、} kact(k) = KACT(k) - FLAF/BASE$$

$$kcmd(k) = KCMD(k) - FLAF/BASE$$

式（4）

【 0 0 5 1 】

目標空燃比偏差 $kcmd$ は、基準値 $FLAF/BASE$ に対する目標空燃比 $KCDM$ の偏差を示

す。d 2 は、該空燃比を操作する系におけるむだ時間を示す。むだ時間 d 2 は、算出された目標空燃比 KCMD が L A F センサ 1 6 の出力 KACT に反映されるのに要する時間を示す。

【 0 0 5 2 】

空燃比を操作する系 1 8 を、適応空燃比制御の制御対象に含めてもよい。この場合の制御対象のモデル式は、式 (3) および (4) に基づいて式 (5) のように表現される。むだ時間 d は、空燃比を操作する系 1 8 、排気系 1 9 および第 1 のデシメーションフィルタ 3 6 から成る系のむだ時間の総和である。第 1 のデシメーションフィルタ 3 6 を設けることで、むだ時間は増える。

【 0 0 5 3 】

【数 5】

$$\begin{aligned} \text{Vo2}(k+1) &= a1 \cdot \text{Vo2}(k) + a2 \cdot \text{Vo2}(k-1) + b1 \cdot \text{kcmd}(k-d1-d2) \\ &= a1 \cdot \text{Vo2}(k) + a2 \cdot \text{Vo2}(k-1) + b1 \cdot \text{kcmd}(k-d) \\ \text{但し、} d &= d1 + d2 = d3 + d5 + d2 \end{aligned}$$

式 (5)

【 0 0 5 4 】

図 5 は、図 4 に示される制御器 3 1 のさらに詳細なブロック図を示す。制御器 3 1 は、同定器 3 2 、推定器 3 3 、スライディングモードコントローラ 3 4 およびリミッタ 3 5 を備える。

【 0 0 5 5 】

同定器 3 2 は、式 (3) におけるモデルパラメータ a 1 、 a 2 および b 1 を、モデル化誤差をなくすように同定する。同定器 3 2 によって実施される同定方法を以下に示す。

【 0 0 5 6 】

前回の制御サイクルで算出されたモデルパラメータ a 1 (k-1)、 a 2 (k-1) および b 1 (k-1) を用い (以下、これらのパラメータを a 1 (k-1) ハット、 a 2 (k-1) ハット および b 1 (k-1) ハットと呼ぶ)、式 (3) に従って今回のサイクルのセンサ出力偏差 Vo2(k) (以下、これをセンサ出力偏差 Vo2(k) ハットと呼ぶ) を式 (6) に従って求める。

【 0 0 5 7 】

【数 6】

$$\begin{aligned}
 \hat{V}o2(k) = & \hat{a}1(k-1) \cdot Vo2(k-1) \\
 & + \hat{a}2(k-1) \cdot Vo2(k-2) \\
 & + \hat{b}1(k-1) \cdot kact(k-d1-1)
 \end{aligned}$$

式 (6)

【 0 0 5 8 】

式 (7) は、式 (6) で算出されたセンサ出力偏差 $Vo2(k)$ ハットと、今回の制御サイクルで実際に検出されたセンサ出力偏差 $Vo2(k)$ との偏差 $id/e(k)$ を示す。

【 0 0 5 9 】

【数 7】

$$id/e(k) = Vo2(k) - \hat{V}o2(k) \quad \text{式 (7)}$$

【 0 0 6 0 】

同定器 3 2 は、偏差 $id/e(k)$ を最小にするように、今回のサイクルにおける $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハットおよび $b1(k)$ ハットを算出する。ここで、式 (8) に示されるようにベクトル Θ を定義する。

【 0 0 6 1 】

【数 8】

$$\Theta^T(k) = [\hat{a}1(k) \quad \hat{a}2(k) \quad \hat{b}1(k)] \quad \text{式 (8)}$$

【 0 0 6 2 】

同定器 3 2 は、式 (9) に従い、 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハットおよび $b1(k)$ ハットを求める。式 (9) に示されるように、前回の制御サイクルで決定された $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハットおよび $b1(k)$ ハットを、偏差 $id/e(k)$ に比例する量だけ変化させることにより、今回の制御サイクルにおける $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハットおよび $b1(k)$ ハットを求める。

【 0 0 6 3 】

【数 9】

$$\Theta(k) = \Theta(k-1) + K\theta(k) \cdot id / e(k)$$

$$\text{ただし、} K\theta(k) = \frac{P(k-1)\xi(k)}{1 + \xi^T(k)P(k-1)\xi(k)}$$

$$\xi^T(k) = [Vo2(k-1) \quad Vo2(k-2) \quad kact(k-d1-1)]$$

$$P(k) = \frac{1}{\lambda 1(k)} \left[I - \frac{\lambda 2(k)P(k-1)\xi(k)\xi^T(k)}{\lambda 1(k) + \lambda 2(k)\xi^T(k)P(k-1)\xi(k)} \right] P(k-1)$$

$$0 < \lambda 1 \leq 1 \quad 0 \leq \lambda 2 < 2 \quad I \text{は単位行列}$$

式 (9)

【0 0 6 4】

推定器 3 3 は、排気系 1 9 のむだ時間 $d 1$ および空燃比操作系のむだ時間 $d 2$ を補償するため、式 (5) に示されるモデル式に基づき、むだ時間 d ($= d 1 + d 2$) 後のセンサ出力偏差 $Vo2$ を推定する。式 (5) を用いることにより、むだ時間 d 後のセンサ出力偏差 $Vo2(k+d)$ の推定値 $\overline{Vo2(k+d)}$ が、式 (10) のようにして求められる。係数 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ および βj は、同定器 7 2 で算出されたモデルパラメータを用いて算出される。目標空燃比偏差の過去の時系列データ $kcmd(k-j)$ (ただし、 $j = 1, 2, \dots, d$) は、むだ時間 d の長さの間に取得された目標空燃比偏差を含む。

【0 0 6 5】

【数 1 0】

$$\overline{Vo2(k+d)} = \alpha 1 \cdot Vo2(k) + \alpha 2 \cdot Vo2(k-1) + \sum_{j=1}^d \beta j \cdot kcmd(k-j)$$

ただし、 $\alpha 1 = A^d$ の第 1 行第 1 列成分

$\alpha 2 = A^d$ の第 1 行第 2 列成分

$\beta j = A^{j-1} \cdot B$ の第 1 行成分

$$A = \begin{bmatrix} a1 & a2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} b1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

式 (10)

【 0 0 6 6 】

むだ時間 d_2 以前の空燃比偏差 kc_{md} の過去の値 $kc_{md}(k-d_2)$ 、 $kc_{md}(k-d_2-1)$ 、
 \dots $kc_{md}(k-d)$ の値を、上記の式 (2) を用いて L A F センサ 1 6 の偏差出力 kac
 (k) 、 $kact(k-1)$ 、 \dots $kact(k-d+d_2)$ で置き換えることができる。その結果、式
 (11) が得られる。

【 0 0 6 7 】

【数 1 1】

$$\begin{aligned}
 \overline{Vo2}(k+d) &= \alpha_1 \cdot Vo2(k) + \alpha_2 \cdot Vo2(k-1) \\
 &\quad + \sum_{j=1}^{d_2-1} \beta_j \cdot kc_{md}(k-j) + \sum_{i=0}^{d-d_2} \beta_i + d_2 \cdot kact(k-i) \\
 &= \alpha_1 \cdot Vo2(k) + \alpha_2 \cdot Vo2(k-1) \\
 &\quad + \sum_{j=1}^{d_2-1} \beta_j \cdot kc_{md}(k-j) + \sum_{i=0}^{d_1} \beta_i + d_2 \cdot kact(k-i)
 \end{aligned}$$

式 (11)

【 0 0 6 8 】

スライディングモードコントローラ 3 4 は、スライディングモード制御を実行
 するため、切換関数 σ を式 (12) のように設定する。

【 0 0 6 9 】

【数 1 2】

$$\sigma(k) = s \cdot Vo2(k-1) + Vo2(k) \quad \text{式 (12)}$$

【 0 0 7 0 】

ここで、 $Vo2(k-1)$ は、前述したように前回のサイクルで検出されたセンサ出力
 偏差を示す。 $Vo2(k)$ は、今回のサイクルで検出されたセンサ出力偏差を示す。 s
 は、切換関数 σ の設定パラメータであり、 $-1 < s < 1$ となるよう設定される。

【 0 0 7 1 】

切換関数 $\sigma(k) = 0$ とした式は等価入力系と呼ばれ、制御量であるセンサ出力
 偏差 $Vo2$ の収束特性を規定する。 $\sigma(k) = 0$ とすると、式 (12) は以下の式

(13) のように変形することができる。

【0072】

【数13】

$$Vo2(k) = -s \cdot Vo2(k-1) \quad \text{式 (13)}$$

【0073】

ここで、図6および式(13)を参照して、切換関数 σ の特性を説明する。図6は、縦軸が $Vo2(k)$ および横軸が $Vo2(k-1)$ の位相平面上に、式(13)を線41で表現したものである。この線41を切換直線と呼ぶ。 $Vo2(k-1)$ および $Vo2(k)$ の組合せからなる状態量($Vo2(k-1)$, $Vo2(k)$)の初期値が、点42で表されているとする。スライディングモード制御は、点42で表される状態量を、切換直線41上に載せて該直線41上に拘束するよう動作する。スライディングモード制御によると、状態量を切換直線41上に保持することにより、該状態量を、外乱等の影響されることなく、極めて安定的に位相平面上の原点0に収束させることができる。言い換えると、状態量($Vo2(k-1)$, $Vo2(k)$)を、式(13)に示される入力のない安定系に拘束することにより、外乱およびモデル化誤差に対してロバストにセンサ出力偏差 $Vo2$ をゼロに収束させることができる。

【0074】

切換関数設定パラメータ s は、可変に設定することができるパラメータである。設定パラメータ s を調整することにより、センサ出力偏差 $Vo2$ の減衰(収束)特性を指定することができる。

【0075】

図7は、スライディングモード制御の応答指定特性の一例を示すグラフである。グラフ43は、 s の値が“1”である場合を示し、グラフ44は s の値が“0.8”である場合を示し、グラフ45は s の値が“0.5”である場合を示す。グラフ43～45から明らかなように、 s の値に従って、センサ出力偏差 $Vo2$ の収束速度が変化する。 s の絶対値を小さくするほど、収束速度が速くなる。

【0076】

切換関数 σ の値をゼロにするよう、3つの制御入力が決定的される。すなわち、

状態量を切換直線上に拘束するための制御入力 U_{eq} 、状態量を切換直線上に載せるための制御入力 U_{rch} 、およびモデル化誤差および外乱を抑制しつつ、状態量を切換直線に載せるための制御入力 U_{adp} が算出される。これら 3 つの制御入力 U_{eq} 、 U_{rch} および U_{adp} の和を算出して、空燃比偏差 k_{cmd} を算出するための要求偏差 U_{sl} を求める。

【0077】

等価制御入力 U_{eq} は、状態量を切換直線上に拘束するための入力であるので、式 (14) を満たすことが条件となる。

【0078】

【数14】

$$\sigma(k+1) = \sigma(k) \quad \text{式 (14)}$$

【0079】

したがって、 $\sigma(k+1) = \sigma(k)$ とするための等価制御入力 U_{eq} は、式 (4)、(5) および (12) から、式 (15) のように算出される。

【0080】

【数15】

$$U_{eq}(k) = -\frac{1}{b_1} [((a_1 - 1) + s) \cdot Vo_2(k+d) + (a_2 - s) \cdot Vo_2(k+d-1)]$$

式 (15)

【0081】

切換関数 σ の値に応じた値を持つ到達則入力 U_{rch} を、式 (16) に従って算出する。この実施例では、到達則入力 U_{rch} は切換関数 σ の値に比例した値を持つ。 K_{rch} は到達則のフィードバックゲインを示し、これは、切換直線 $\sigma = 0$ への収束の安定性および速応性等を考慮して、シミュレーション等に基づいて予め定められる。

【0082】

【数 1 6】

$$U_{rch}(k) = -\frac{1}{b_1} \cdot K_{rch} \cdot \sigma(k+d) \quad \text{式 (16)}$$

【0 0 8 3】

切換関数 σ の積算値に応じた値を持つ適応則入力 U_{adp} を、式 (17) に従って算出する。この実施例では、適応則入力 U_{adp} は切換関数 σ の積算値に比例した値を持つ。 K_{adp} は適応則のフィードバックゲインを示し、これは、切換直線 $\sigma = 0$ への収束の安定性および速応性等を考慮して、シミュレーション等に基づいて予め定められる。 ΔT は、制御サイクルの周期を示す。

【0 0 8 4】

【数 1 7】

$$U_{adp}(k) = -\frac{1}{b_1} \cdot K_{adp} \cdot \sum_{i=0}^{k+d} (\sigma(i) \cdot \Delta T) \quad \text{式 (17)}$$

【0 0 8 5】

センサ出力偏差 $Vo2(k+d)$ および $Vo2(k+d-1)$ と、切換関数の値 $\sigma(k+d)$ は、むだ時間 d が考慮された予測値であるので、これらを直接求めることはできない。そこで、推定器 33 によって求められた推定偏差 $\overline{Vo2}(k+d)$ および $\overline{Vo2}(k+d-1)$ を用い、等価制御入力 U_{eq} を求める。

【0 0 8 6】

【数 1 8】

$$U_{eq}(k) = -\frac{1}{b_1} [(a_1 - 1) + s] \cdot \overline{Vo2}(k+d) + (a_2 - s) \cdot \overline{Vo2}(k+d-1) \quad \text{式 (18)}$$

【0 0 8 7】

また、推定器 33 によって算出された推定偏差を用いて、式 (19) に示されるように切換関数 σ が算出される。

【0 0 8 8】

【数 1 9】

$$\bar{\sigma} = s \cdot \overline{Vo2}(k-1) + \overline{Vo2}(k) \quad \text{式 (19)}$$

【0 0 8 9】

切換関数 σ バーを用いて、到達則入力 $Urch$ および適応則入力 $Uadp$ を算出する。

【0 0 9 0】

【数 2 0】

$$Urch(k) = -\frac{1}{b1} \cdot Krch \cdot \bar{\sigma}(k+d) \quad \text{式 (20)}$$

【0 0 9 1】

【数 2 1】

$$Uadp(k) = -\frac{1}{b1} \cdot Kadp \cdot \sum_{i=0}^{k+d} (\bar{\sigma}(i) \cdot \Delta T) \quad \text{式 (21)}$$

【0 0 9 2】

式 (22) に示されるように、等価制御入力 Ueq 、到達則入力 $Urch$ および適応則入力 $Uadp$ を加算し、要求偏差 Usl を求める。

【0 0 9 3】

【数 2 2】

$$Usl(k) = Ueq(k) + Urch(k) + Uadp(k) \quad \text{式 (22)}$$

【0 0 9 4】

リミッタ 35 は、要求偏差 Usl に対してリミット処理を行い、目標空燃比偏差 $kcmd$ を求める。具体的には、リミッタ 35 は、要求偏差 Usl が許容範囲内にあれば、該要求偏差 Usl を空燃比偏差 $kcmd$ とする。要求偏差 Usl が許容範囲から逸脱している場合は、該許容範囲の上限値または下限値を、空燃比偏差 $kcmd$ に設定する。

【 0 0 9 5 】

リミッタ 3 5 で使用される許容範囲は、図 3 の参照番号 2 9 に示されるように、ウィンドウ 2 7 を略中心として、これを含むさらに広い範囲に設定される。この許容範囲は、要求偏差 U_{sl} および運転状態等に応じてアクティブに移動する。また、この許容範囲は、空燃比の変動によるエンジンの燃焼変動を抑制しつつ、触媒の浄化能力がウィンドウ 2 7 の最適な状態から外れた際に速やかに該最適な状態に復帰させるのに十分な幅を持つ。よって、過渡状態での触媒浄化率を高く保つことができ、有害な排ガス成分を低減することができる。

【 0 0 9 6 】

具体的には、許容範囲は、算出された要求偏差 U_{sl} に応じて可変に更新される。たとえば、要求偏差 U_{sl} の許容範囲からの逸脱量に応じて、許容範囲を拡大する。または、要求偏差 U_{sl} が許容範囲内にあるとき、該許容範囲を縮小する。こうして、 O_2 センサ 1 7 の出力を目標値に収束させるのに必要な空燃比を規定する要求偏差 U_{sl} に適した許容範囲が設定される。

【 0 0 9 7 】

さらに、許容範囲は、 O_2 センサ 1 7 の出力の不安定さが高いほど狭く設定される。また、許容範囲は、始動時、アイドリング運転状態および燃料カットが解除された時等を含め、運転状態に応じて設定されるようにしてもよい。

【 0 0 9 8 】

求められた空燃比偏差 k_{cmd} を基準値 $FLAF/BASE$ に加算して目標空燃比 $KCMD$ を求める。該目標空燃比 $KCMD$ を、制御対象である排気系 1 9 に与えることにより、センサ出力偏差 Vo_2 をゼロに収束させることができる。

【 0 0 9 9 】

代替の実施形態においては、空燃比の基準値 $FLAF/BASE$ は、リミッタ 3 5 によるリミット処理が終了した後、スライディングモード制御器 3 4 によって算出される適応則入力 U_{adp} に応じて可変に更新される。具体的には、基準値 $FLAF/BASE$ は、初期値として理論空燃比が設定される。適応則 U_{adp} が予め決められた上限値を超えているならば、基準値 $FLAF/BASE$ は所定量だけ増やされる。適応則 U_{adp} が予め決められた下限値を下回っているならば、基準値 $FLAF/BASE$ は所定量だけ

減らされる。適応則 U_{adp} が上限値および下限値の間であれば、基準値 $FLAF/BASE$ は更新されない。更新された $FLAF/BASE$ は、次のサイクルにおいて用いられる。こうして、基準値 $FLAF/BASE$ は、目標空燃比 $KCMD$ の中心的な値となるよう調整される。

【 0 1 0 0 】

基準値 $FLAF/BASE$ の更新処理を上記のリミット処理と組み合わせることにより、要求偏差 U_{sl} の許容範囲が正負にバランスされる。基準値 $FLAF/BASE$ の更新処理は、 O_2 センサ出力 Vo_2/OUT が目標値 $Vo_2/TARGET$ にほぼ収束し、スライディングモード制御が安定状態にあると判断されたときに行われるのが好ましい。

【 0 1 0 1 】

第 1 のデシメーションフィルタ

図 8 は、第 1 のデシメーションフィルタ 3 6 のブロック図である。第 1 のオーバーサンプラー 5 1 は、 O_2 センサ出力 Vo_2/OUT を、空燃比を操作する操作量 U_{sl} を算出するための制御周期（すなわち、上記の計算式において示される “ k ”）よりも速い周期 n でオーバーサンプリングする。オーバーサンプリングの周期 n は、たとえば、制御周期 k の $1/5$ である。オーバーサンプリングされたサンプル値 Vo_2_{ov} は、第 1 のローパスフィルタ 5 2 に渡される。

【 0 1 0 2 】

第 1 のローパスフィルタ 5 2 は、式 (2 3) に従って、サンプル値 Vo_2_{ov} にフィルタリング処理を施し、 Vo_2_{ovf} を出力する。 a_{lovf} , a_{2ovf} , a_{3ovf} , b_{0ovf} , b_{lovf} , b_{2ovf} , b_{3ovf} は、予めシミュレーション等で定められるフィルタ係数である。

【 0 1 0 3 】

【数 2 3】

$$\begin{aligned} Vo2_ovf(n) = & a_{lovf} \cdot Vo2_ovf(n-1) + a_{2ovf} \cdot Vo2_ovf(n-2) + a_{3ovf} \cdot Vo2_ovf(n-3) \\ & + b_{0ovf} \cdot Vo2_ov(n) + b_{lovf} \cdot Vo2_ov(n-1) \\ & + b_{2ovf} \cdot Vo2_ov(n-2) + b_{3ovf} \cdot Vo2_ov(n-3) \end{aligned}$$

式 (2 3)

【 0 1 0 4 】

第 1 のダウンサンプラー 5 3 は、第 1 のローパスフィルタ 5 2 によってフィルタリングされた値 $Vo2_ovf$ を、空燃比を操作する操作量 Usl を算出するための制御周期 k でリサンプリングし、サンプル値 $Vo2_df$ を出力する。

【 0 1 0 5 】

所定の周波数域における O_2 センサ出力に基づいて、触媒の劣化を検知する手法が提案されている。したがって、この触媒劣化の検知を無効にすることなく、第 1 のローパスフィルタ 5 2 を設計するのが好ましい。

【 0 1 0 6 】

図 9 および図 1 0 は、触媒の劣化を検知するのに必要な周波数域を示す。図 9 は、(a) 触媒が新品の時、(b) 触媒の浄化率が十分残っている時、(c) 触媒の浄化率が不十分な時の、 O_2 センサ出力 $Vo2/OUT$ のパワースペクトルを示す。図 9 の (a) ~ (c) における、周波数 3 ~ 7 Hz におけるセンサ出力 $Vo2/OUT$ のパワースペクトルのレベル変化が、参照番号 6 1 によって示されている。

【 0 1 0 7 】

図 1 0 の (a) から (c) は、図 9 の (a) から (c) のセンサ出力 $Vo2/OUT$ に、バンドパスフィルタによってフィルタリング処理を施した結果をそれぞれ示す。周波数 3 ~ 7 Hz におけるセンサ出力 $Vo2/OUT$ のパワースペクトルが、フィルタによって強調されている。参照番号 6 2 によって示されるように、触媒が劣化するほど、周波数 3 ~ 7 Hz におけるセンサ出力 $Vo2/OUT$ のパワースペクトルが増加している。このように、周波数 3 ~ 7 Hz におけるセンサ出力 $Vo2/OUT$ を評価することにより、触媒の劣化状態を判定することができる。したがって、第 1 のローパスフィルタ 5 2 は、3 ~ 7 Hz の周波数域をカットしないように設計されるのが好ましい。

【 0 1 0 8 】

図 1 1 は、第 1 のローパスフィルタ 5 2 のフィルタ特性を示す。触媒の劣化検知に必要な周波数は、参照番号 6 4 によって示される線よりも低い周波数域に存在する。カットオフ周波数は、触媒の劣化検知に必要な周波数よりも十分大きく設定されている。したがって、第 1 のローパスフィルタ 5 2 は、触媒の劣化検知の精度を低下させない。

【 0 1 0 9 】

第 1 のデシメーションフィルタを用いることの効果

図 1 2 の (a) は、O 2 センサの素子の応答を速めた場合の、本発明の一実施形態に従う、制御周期 k でサンプリングされた O 2 センサ出力の推移 6 5、および図 1 1 に示されるフィルタ特性を持つ第 1 のデシメーションフィルタの出力 $Vo2_df$ の推移 6 6 を示す。O 2 センサ出力は、たとえば領域 6 7 の推移 6 6 によって示されるように、ケミカルノイズのために大きな変動を持つ。しかしながら、第 1 のデシメーションフィルタの値 $Vo2_df$ においては、このケミカルノイズの変動が除去されている。

【 0 1 1 0 】

図 1 2 の (b) における推移 6 5 は、図 1 2 の (a) に示されるものと同じである。しかし、グラフ 6 8 は、図 1 3 に示されるフィルタ特性を持つローパスフィルタを用いて O 2 センサ出力をフィルタリングした値 $Vo2_f$ の推移を示す。図 1 3 に示されるように、このローパスフィルタは、触媒の劣化検知に必要な周波数よりも大きいカットオフ周波数を持つ。したがって、触媒の劣化検知の精度を低下させない。しかしながら、このローパスフィルタが、オーバーサンプリングされていない O 2 センサ出力に適用されている点に注意されたい。

【 0 1 1 1 】

領域 6 9 の推移 6 5 によって示されるように、ケミカルノイズに起因した O 2 センサ出力の大きな変動に応じて、フィルタリングした値 $Vo2_f$ にも大きな変動が現れている（見にくいだが、推移 6 5 の O 2 センサ出力の変動に応じて、フィルタリングされた値 $Vo2_f$ が凸状に変化している）。このように、図 1 2 の (b) の例では、O 2 センサ出力のケミカルノイズを除去することができない。

【 0 1 1 2 】

図 1 2 の (c) における推移 6 5 は、図 1 2 の (a) に示されるものと同じである。しかし、グラフ 7 0 は、図 1 4 に示されるフィルタ特性を持つローパスフィルタを用いて O 2 センサ出力をフィルタリングした値 $Vo2_f'$ の推移 7 0 を示す。図 1 5 に示されるように、このローパスフィルタは、触媒の劣化検知に必要な周波数よりも低いカットオフ周波数を持つ。したがって、触媒の劣化検知の精

度を低下させるおそれがある。さらに、このローパスフィルタは、オーバーサンプリングされていないO₂センサ出力に適用される。

【0113】

領域71の推移65および70によって示されるように、O₂センサ出力は、ケミカルノイズに起因した大きな変動を持つが、フィルタリングされた値Vo₂_f'には、変動がほとんど現れていない。しかしながら、領域72に顕著に表れているように、フィルタリングされた値Vo₂_f'は、O₂センサ出力に対して大きな位相遅れを持つ。図12の(c)の例は、触媒の劣化検知の精度を低下させ、さらにO₂センサの素子の応答性を速めた効果を無にするものである。

【0114】

このように、第1のデシメーションフィルタを用いることにより、位相遅れを生じさせることなく、センサ出力Vo₂/OUTに現れるケミカルノイズを除去することができる。

【0115】

図15は、O₂センサの素子の応答性を速めた場合における、従来の空燃比制御における排ガスセンサ出力Vo₂/OUT、および目標空燃比偏差kcmdの推移を示す。参照番号75によって示されるように、O₂センサの素子の応答性を速めたことにより、センサ出力に高周波のケミカルノイズが現れている。このノイズに起因して、参照番号76に示されるように、目標空燃比偏差kcmdの変動が増大している。このような目標空燃比偏差kcmdの変動の増大は、触媒に流入する排ガスの空燃比の変動を大きくするので、触媒浄化率を低下させるおそれがある。

【0116】

図16は、O₂センサの素子の応答性を速めた場合における、本発明の一実施形態に従う空燃比制御における、排ガスセンサ出力Vo₂/OUTの推移81、第1のデシメーションフィルタの出力Vo₂_dfの推移82、および目標空燃比偏差kcmdの推移83を示す。センサ出力Vo₂/OUTには、高周波のケミカルノイズが現れている。しかしながら、第1のデシメーションフィルタの出力Vo₂_dfでは、このケミカルノイズによる変動が除去されている。第1のデシメーションフィルタの出力Vo₂_dfを用いることにより、目標空燃比偏差kcmdが安定する。

【 0 1 1 7 】

第 2 の実施例に従う適応空燃比制御

図 1 7 は、第 2 の実施例に従う適応空燃比制御の制御ブロック図を示す。第 1 の実施例と異なる点は、第 1 のデシメーションフィルタ 3 6 が取り除かれ、第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 が設けられていることである。

【 0 1 1 8 】

○ 2 センサ 1 7 の出力 $Vo2/OUT$ は、目標値 $Vo2/TARGET$ と比較される。センサ出力 $Vo2/OUT$ と目標値 $Vo2/TARGET$ の偏差 $Vo2$ が、制御器 3 1 に供給される。

【 0 1 1 9 】

L A F センサ 1 6 の出力 $KACT$ は、第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 に渡される。第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 は、実空燃比 $KACT$ をオーバーサンプリングし、ローパスフィルタでフィルタリングし、ダウンサンプリングし、サンプル値 $KACT_df$ を出力する。サンプル値 $KACT_df$ は、目標値 $FLAF/BASE$ と比較される。サンプル値 $KACT_df$ と目標値 $FLAF/BASE$ の偏差 $kact$ が、制御器 3 1 に供給される。

【 0 1 2 0 】

制御対象である排気系 1 9 を、出力を $Vo2/OUT$ 、入力を L A F センサの出力 $KACT$ として、式 (2 4) のようにモデル化することができる。

【 0 1 2 1 】

【数 2 4】

$$Vo2(k+1) = a1 \cdot Vo2(k) + a2 \cdot Vo2(k-1) + b1 \cdot kact'(k-d3)$$

$$\text{但し、} Vo2(k) = Vo2/OUT(k) - Vo2/TARGET$$

$$kact'(k) = KACT(k) - FLAF/BASE$$

式 (2 4)

【 0 1 2 2 】

センサ出力偏差 $Vo2$ は、○ 2 センサ出力 $Vo2/OUT$ の目標値 $Vo2/TARGET$ に対する偏差を示す。実空燃比偏差 $kact'$ は、L A F センサの出力 $KACT$ の基準値 $FLAF/BASE$ に対する偏差を示す。

【 0 1 2 3 】

d 3 は、排気系 1 9 におけるむだ時間を示す。a 1、a 2 および b 1 は、前述した同定器によって生成されるモデルパラメータである。

【 0 1 2 4 】

L A F センサ出力 KACT と、第 2 のデシメーションフィルタの出力 KACT_df の関係は、式 (2 5) のように表される。

【 0 1 2 5 】

【数 2 5】

$$KACT(k) = KACT_df(k + d6)$$

式 (2 5)

【 0 1 2 6 】

d 6 は、第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 におけるむだ時間を示す。むだ時間 d 6 は、L A F センサ出力 KACT がオーバーサンプリングされ、ローパスフィルタによってフィルタリングされ、ダウンサンプリングされるのに要する時間を示す。むだ時間 d 6 は、たとえば 1 制御サイクルである（すなわち、d 6 = 1）。

【 0 1 2 7 】

排気系 1 9 および第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 を合わせた系は、式 (2 4) および (2 5) から、式 (2 6) のように求めることができる。

【 0 1 2 8 】

【数 2 6】

$$\begin{aligned} Vo2(k+1) &= a1 \cdot Vo2(k) + a2 \cdot Vo2(k-1) + b1 \cdot kact(k-d3+d6) \\ &= a1 \cdot Vo2(k) + a2 \cdot Vo2(k-1) + b1 \cdot kact(k-d1) \\ \text{但し、} Vo2(k) &= Vo2/OUT(k) - Vo2/TARGET \\ kact(k) &= KACT_df(k) - FLAF/BASE \\ d1 &= d3 - d6 \end{aligned}$$

式 (2 6)

【 0 1 2 9 】

このように、第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 を設けることで、排気系におけるむだ時間が減る。

【 0 1 3 0 】

一方、エンジン 1 および ECU 5 からなる空燃比を操作する系 1 8 は、式 (27) のようにモデル化されることができる。

【 0 1 3 1 】

【数 2 7】

$$kact'(k) = kcmd(k - d4)$$

$$\text{但し、} kact'(k) = KACT(k) - FLAF / BASE$$

$$kamd(k) = KCMD(k) - FLAF / BASE$$

式 (2 7)

【 0 1 3 2 】

目標空燃比偏差 kcmd は、基準値 FLAF / BASE に対する目標空燃比 KCDM の偏差を示す。d 4 は、該空燃比を操作する系におけるむだ時間を示す。

【 0 1 3 3 】

空燃比操作系 1 8 および第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 を合わせた系は、式 (25) および (27) から、式 (28) のように求めることができる。

【 0 1 3 4 】

【数 2 8】

$$kact(k) = kcmd(k - d4 - d6)$$

$$= kcmd(k - d2)$$

$$\text{但し、} kact(k) = KACT_df(k) - FLAF / BASE$$

$$kamd = KCMD - FLAF / BASE$$

$$d2 = d4 + d6$$

式 (2 8)

【 0 1 3 5 】

このように、第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 を設けることで、空燃比操作系におけるむだ時間が増える。

【 0 1 3 6 】

空燃比を操作する系 1 8 を、適応空燃比制御の制御対象に含めてもよい。この

場合の制御対象のモデル式は、式（26）および（28）に基づいて式（29）のように表現される。むだ時間 d は、空燃比を操作する系 18、排気系 19 および第 2 のデシメーションフィルタ 37 から成る系のむだ時間の総和である。

【0137】

【数 29】

$$Vo2(k+1) = a1 \cdot Vo2(k) + a2 \cdot Vo2(k-1) + b1 \cdot kcmd(k-d1-d2)$$

$$= a1 \cdot Vo2(k) + a2 \cdot Vo2(k-1) + b1 \cdot kcmd(k-d)$$

$$\text{但し、} d = d1 + d2 = d3 - d6 + d4 + d6 = d3 + d4$$

式（29）

【0138】

このように、排気系 19、空燃比操作系 18 および第 2 のデシメーションを合わせた系におけるむだ時間は、排気系 19 におけるむだ時間 $d3$ と空燃比操作系におけるむだ時間 $d4$ の和に等しい。第 2 のデシメーションフィルタにおけるむだ時間 $d6$ は、該系に影響しない。

【0139】

第 2 の実施例において、制御器 31 の構成は、第 1 の実施例と同じである。制御器 31 における同定器 32、推定器 33 およびスライディングモードコントローラ 34 におけるむだ時間 $d1$ 、 $d2$ および d は、それぞれ、 $(d3 - d6)$ 、 $(d4 + d6)$ 、および $(d3 + d4)$ である。

【0140】

第 2 のデシメーションフィルタ

図 18 は、第 2 のデシメーションフィルタ 37 のブロック図である。第 2 のオーバーサンプラー 55 は、LAF センサの出力 KACT を、空燃比を操作する操作量 Usl を算出するための制御周期（すなわち、上記の計算式において示される“ k ”）よりも速い周期 n でオーバーサンプリングする。オーバーサンプリングの周期 n は、たとえば、制御周期 k の $1/5$ である。オーバーサンプリングされたサンプル値 KACT_ov は、第 2 のローパスフィルタ 56 に渡される。

【0141】

第2のローパスフィルタ56は、式(30)に従って、サンプル値KACT_ovにフィルタリング処理を施し、KACT_ovfを出力する。a1ovf' ,a2 ovf' ,a3ovf' ,b0ovf' ,b1ovf' ,b2ovf' ,b3ovf' は、予めシミュレーション等で定められるフィルタ係数である。図19に、第2のローパスフィルタ56のフィルタ特性を示す。

【0142】

【数30】

KACT_ovf(n) =

$$\begin{aligned} & a1ovf' \cdot KACT_ovf(n-1) + a2ovf' \cdot KACT_ovf(n-2) + a3ovf' \cdot KACT_ovf(n-3) \\ & + b0ovf' \cdot KACT_ov(n) + b1ovf' \cdot KACT_ov(n-1) \\ & + b2ovf' \cdot KACT_ov(n-2) + b3ovf' \cdot KACT_ov(n-3) \end{aligned}$$

式(30)

【0143】

第2のダウンサンプラー56は、第2のローパスフィルタ55によってフィルタリングされた値KACT_ovfを、空燃比を操作する操作量Us1を算出するための制御周期kでリサンプリングし、サンプル値KACT_dfを出力する。

【0144】

第2のデシメーションフィルタを用いることの効果

図20は、LAFセンサの検知レンジを拡大した場合の、従来の空燃比制御における、LAFセンサによって検出された実空燃比偏差kactの遷移91、偏差kactに従って算出された目標空燃比偏差kcmdの遷移92を示す。グラフ93は、同定器32によって算出されるモデルパラメータb1の推移を示す。モデルパラメータb1は、前述したように、モデル化された制御系の入力である空燃比偏差kactと、制御系の出力であるセンサ出力偏差Vo2の間の相関を同定する。

【0145】

たとえば領域94を参照すると、実空燃比偏差kactが-P2~+P2の間で連続的に変動しているとしても、LAFセンサの分解能が低いために、-P2, -P1, 0, +P1, +P2のいずれかの値しかとることができない。たとえば、0と+P1の中間の

値を持つ実空燃比偏差は検出されない。したがって、領域 9 4 に示されるフラット部分で表されるように、実空燃比偏差 k_{act} が連続してゼロであると検出されることも多い。

【 0 1 4 6 】

このようなフラット部分が連続的に検出されると、同定器は、空燃比偏差 k_{act} とセンサ出力偏差 V_{o2} の間に相関が無いと判断し、グラフ 9 3 に示されるように、モデルパラメータ b_1 を小さくしていく。こうして、モデルパラメータ b_1 の同定精度が低下する。モデルパラメータ b_1 の値が小さくなるにつれ、スライディングモード制御は過補正状態になる。このことは、グラフ 9 2 の領域 9 5 に示されるように、目標空燃比偏差 k_{cmd} の変動の増大を引き起こし、結果として触媒浄化率を低下させる。

【 0 1 4 7 】

図 2 1 は、L A F センサの検知レンジを拡大した場合の、本発明の一実施形態に従う第 2 のデシメーションフィルタを用いた空燃比制御における、L A F センサによって検出された実空燃比偏差 k_{act} の推移 9 7、第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 の出力 $KACT_df$ の推移 9 8 を示す。第 2 のデシメーションフィルタを実空燃比 $KACT$ に適用することにより、L A F センサによって検出することのできない値（すなわち、分解能未満の値）が推定されていることがわかる。 $Kact_df$ の推移には、連続したフラット部分が存在せず、よって同定器によって実空燃比偏差 k_{act} とセンサ出力偏差 V_{o2} の間が無相関と判断されることはない。その結果、グラフ 9 9 に示されるように、同定パラメータ b_1 の値が安定する。

【 0 1 4 8 】

このように、第 2 のデシメーションフィルタを用いることで、L A F センサの分解能不足を補償することができる。第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 におけるオーバーサンプリングの周期 n は、第 1 のデシメーションフィルタ 3 6 におけるオーバーサンプリングの周期と同じでもよいし、異なってもよい。

【 0 1 4 9 】

第 3 の実施例に従う適応空燃比制御

図 2 2 は、第 3 の実施例に従う適応空燃比制御の制御ブロック図を示す。第 3

の実施例においては、第 1 のデシメーションフィルタ 3 6 および第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 の両方が設けられる。

【 0 1 5 0 】

○ 2 センサ 1 7 の出力 $Vo2/OUT$ は、第 1 のデシメーションフィルタ 3 6 に渡される。第 1 のデシメーションフィルタ 3 6 からの出力 $Vo2_df$ は、目標値 $Vo2/TARGET$ と比較される。サンプル値 $Vo2_df$ と目標値 $Vo2/TARGET$ の偏差 $Vo2$ が、制御器 3 1 に供給される。

【 0 1 5 1 】

L A F センサ 1 6 の出力 $KACT$ は、第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 に渡される。第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 からの出力 $KACT_df$ は、目標値 $FLAF/BASE$ と比較される。サンプル値 $KACT_df$ と目標値 $FLAF/BASE$ の偏差 $kact$ が、制御器 3 1 に供給される。

【 0 1 5 2 】

制御対象である排気系 1 9 を、出力を $Vo2/OUT$ 、入力を L A F センサの出力 $KACT$ として、式 (3 1) のようにモデル化することができる。

【 0 1 5 3 】

【数 3 1】

$$Vo2'(k+1) = a1 \cdot Vo2'(k) + a2 \cdot Vo2'(k-1) + b1 \cdot kact'(k-d3)$$

$$\text{但し、} Vo2'(k) = Vo2/OUT(k) - Vo2/TARGET$$

$$kact'(k) = KACT(k) - FLAF/BASE$$

式 (3 1)

【 0 1 5 4 】

センサ出力偏差 $Vo2'$ は、○ 2 センサ出力 $Vo2/OUT$ の目標値 $Vo2/TARGET$ に対する偏差を示す。実空燃比偏差 $kact'$ は、L A F センサの出力 $KACT$ の基準値 $FLAF/BASE$ に対する偏差を示す。

【 0 1 5 5 】

$d3$ は、排気系 1 9 におけるむだ時間を示す。 $a1$ 、 $a2$ および $b1$ は、前述した同定器によって生成されるモデルパラメータである。

【 0 1 5 6 】

○ 2 センサ出力Vo2/OUTと、第 1 のデシメーションフィルタの出力Vo2_dfの関係は、上記式 (2) のように表される。L A F センサ出力KACTと、第 2 のデシメーションフィルタの出力KACT_dfの関係は、上記の式 (2 5) のように表される。

【 0 1 5 7 】

排気系 1 9、第 1 および第 2 のデシメーションフィルタ 3 6 および 3 7 を合わせた系は、式 (2)、(2 5) および (3 1) から、式 (3 2) のように求めることができる。

【 0 1 5 8 】

【数 3 2】

$$\begin{aligned} \text{Vo2}(k+1) &= a1 \cdot \text{Vo2}(k) + a2 \cdot \text{Vo2}(k-1) + b1 \cdot \text{kact}(k-d3-d5+d6) \\ &= a1 \cdot \text{Vo2}(k) + a2 \cdot \text{Vo2}(k-1) + b1 \cdot \text{kact}(k-d1) \\ \text{但し、Vo2}(k) &= \text{Vo2_df}(k) - \text{Vo2}/\text{TARGET} \\ \text{kact}(k) &= \text{KACT_df}(k) - \text{FLAF}/\text{BASE} \\ d1 &= d3 + d5 - d6 \end{aligned}$$

式 (3 2)

【 0 1 5 9 】

第 1 のデシメーションフィルタ 3 6 におけるむだ時間 d 5 と、第 2 のデシメーションフィルタ 3 7 におけるむだ時間 d 6 が等しければ、第 1 および第 2 のデシメーションフィルタ 3 6 および 3 7 が設けられた排気系のむだ時間は d 3 である。すなわち、第 1 および第 2 のデシメーションフィルタ 3 6 および 3 7 を設けた場合は、むだ時間は変化しない。

【 0 1 6 0 】

一方、エンジン 1 および E C U 5 からなる空燃比を操作する系 1 8 は、上記 (2 7) のようにモデル化される。空燃比操作系 1 8、第 1 および第 2 のデシメーションフィルタ 3 6 および 3 7 を合わせた系は、上記の式 (2 8) により表される。空燃比操作系 1 8 には、第 1 のデシメーションにおけるむだ時間は影響しない。

【 0 1 6 1 】

空燃比を操作する系 18 を、適応空燃比制御の制御対象に含めてもよい。この場合の制御対象のモデル式は、式 (32) および (28) に基づいて式 (33) のように表現される。むだ時間 d は、空燃比を操作する系 18、排気系 19 および第 2 のデシメーションフィルタ 37 から成る系のむだ時間の総和である。

【0162】

【数 33】

$$\begin{aligned} \text{Vo2}(k+1) &= a1 \cdot \text{Vo2}(k) + a2 \cdot \text{Vo2}(k-1) + b1 \cdot \text{kcmd}(k-d1-d2) \\ &= a1 \cdot \text{Vo2}(k) + a2 \cdot \text{Vo2}(k-1) + b1 \cdot \text{kcmd}(k-d) \\ \text{但し、} d &= d1 + d2 = d3 + d5 - d6 + d4 + d6 = d3 + d4 + d5 \end{aligned}$$

式 (33)

【0163】

このように、排気系 19、空燃比操作系 18 および第 2 のデシメーションを合わせた系におけるむだ時間は、排気系 19 におけるむだ時間 $d3$ と空燃比操作系におけるむだ時間 $d4$ の和に等しい。第 2 のデシメーションフィルタにおけるむだ時間 $d6$ は、該系に影響しない。

【0164】

第 3 の実施例において、制御器 31 の構成は、第 1 の実施例と同じである。制御器 31 における同定器 32、推定器 33 およびスライディングモードコントローラ 34 におけるむだ時間 $d1$ および $d2$ は、それぞれ、 $(d3 + d5 - d6)$ 、 $(d4 + d6)$ および $(d3 + d4 + d5)$ である。

【0165】

第 3 の実施例によれば、O2 センサの出力に現れるケミカルノイズを低減することができ、かつ LAF センサの分解能不足を補うことができる。

【0166】

制御器の他の実施形態

上記の実施例において、制御器 31 (図 4、17、22) は、スライディングモード制御の代わりに、他の応答指定型制御を実施してもよい。

【0167】

図23は、制御器の他の実施形態を示す。図4と異なる点は、制御器31が、スライディングモードコントローラの代わりに、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムを用いた制御を実施するDSMコントローラ38を備えることである。

【0168】

図24は、DSMコントローラ38のブロック図を示す。 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムは、従来使用されているアルゴリズムであるので、簡単に説明する。推定器33によって推定されたセンサ出力偏差 V_{o2} バーは、増幅器101により、ゲイン“-G”を乗算され、参照信号 r として出力される。差分器102は、参照信号 r と、前回のサイクルで算出された $\Delta\Sigma$ 変調信号 $u(k-1)$ の差を算出し、差分信号 $\delta(k)$ を出力する。

【0169】

積分器103は、今回のサイクルで算出された差分信号 $\delta(k)$ を、前回のサイクルで算出された積算信号 $\sigma'(k-1)$ に加算し、今回のサイクルにおける積算信号 $\sigma'(k)$ を算出する。積算信号 $\sigma'(k)$ は、符号関数104により+/-が判断され、信号 $u''(k)$ として出力される。増幅器105は、信号 $u''(k)$ にゲイン“-F”を乗算し、乗算された値を $\Delta\Sigma$ 変調信号 $u(k)$ として出力する。 $\Delta\Sigma$ 変調信号 $u(k)$ は、目標空燃比偏差 kc_{md} を示す信号である。 $\Delta\Sigma$ 変調信号 $u(k)$ に基準値 $FLAF/BASE$ を加算することで、目標空燃比 $KCMD$ が算出される。

【0170】

代替的に、DSMコントローラ38は、積分器を含まない Δ 変調アルゴリズム、または積分器の次に差分器が続く $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムを実施するものでもよい。

【0171】

他の実施形態では、制御器31は、スライディングモードコントローラ34およびDSMコントローラ38の両方を備える。制御器31は、内燃機関の運転状態に応じて、スライディングモード制御（または、他の応答指定型制御）と、 $\Delta\Sigma$ 変調による制御（または、 $\Sigma\Delta$ 変調、 Δ 変調）とを切り換えることができる。たとえば、低負荷のときは、 $\Delta\Sigma$ 変調コントローラによって空燃比を制御し、高負荷のときは、スライディングモードコントローラによって空燃比を制御する。

【 0 1 7 2 】

制御フロー

図 2 5 は、前述した第 3 の実施例に従う、適応空燃比制御のフローチャートを示す。第 1 および第 2 のデシメーションフィルタのオーバーサンプリングの周期 n は、同じである。このルーチンは、この周期 n で実施される。

【 0 1 7 3 】

ステップ S 1 1 1 において、O 2 センサの出力 $Vo2/OUT$ を、サンプリングし、ローパスフィルタでフィルタリングし、 $Vo2_ovf$ を求める。ステップ S 1 1 2 において、L A F センサの出力 $KACT$ を、ローパスフィルタでフィルタリングし、 $KACT_ovf$ を求める。前述したように、周期 n は、空燃比操作量 $Us1$ を算出する周期 k より小さいので、O 2 センサ出力 $Vo2/OUT$ および L A F センサ出力 $KACT$ は、オーバーサンプリングされる。ステップ S 1 1 1 および S 1 1 2 は、並列に実行してもよい。

【 0 1 7 4 】

ステップ S 1 1 3 において、カウンタ $CPRI SM$ がゼロかどうかを判断する。カウンタ $CPRI SM$ は、初期値として「 $k/n - 1$ 」が設定されている。たとえば、 n が 1 0 ミリ秒であり、 k が 5 0 ミリ秒であるとき、カウンタ $CPRI SM$ の初期値は“4”である。カウンタ $CPRI SM$ の値がゼロでなければ、ステップ S 1 1 4 においてカウンタを 1 だけデクリメントし、このルーチンを抜ける。カウンタ $CPRI SM$ がゼロになったならば、ステップ S 1 1 5 に進み、カウンタをリセットする。こうして、ステップ S 1 1 1 および S 1 1 2 が周期 n で実行されるのに対し、ステップ S 1 1 4 ~ S 1 2 2 の処理は、周期 k で実行される。

【 0 1 7 5 】

ステップ S 1 1 6 において、実行許可フラグが 1 かどうか判断される。実行許可フラグは、空燃比制御の実施が許可されたときに 1 がセットされるフラグである。たとえば、エンジンのリーン運転が実施されているとき、または点火時期を遅角側に制御する運転が行われているとき、空燃比制御の実施は許可されない。実行許可フラグがゼロならば、目標空燃比偏差 $kcmd$ に所定値をセットし (S 1 2

3)、ステップS124に進む。

【0176】

実行許可フラグが1ならば、ステップS111でフィルタリングされた値Vo2_ovfを、周期kでサンプリングし、Vo2_dfを求める。さらに、ステップS112でフィルタリングされた値KACT_ovfを、周期kでサンプリングし、KACT_dfを求める(S117)。

【0177】

ステップS118において、前述したように、同定器による演算処理を実施し、モデルパラメータa1、a2およびb1を求める。ステップS119において、前述したように、推定器による演算処理を実施し、推定値Vo2バーを算出する。ステップS120において、前述したように、制御入力Uslを算出する。

【0178】

ステップS121において、スライディングモード制御の安定判別を実施する。たとえば、安定判別基本パラメータPstb($=\sigma(k+d)$ バー・ $\Delta\sigma$ バー)がゼロ以下ならば、安定と判定する。Pstbは、切換関数 σ バーに関するリアプノフ関数 σ バー²/2の時間微分値に相当する。Pstb ≤ 0 となる状態は、切換関数 σ バーの値がゼロに収束しているか、またはゼロに収束しつつある状態を示す。Pstb > 0 となる状態は、切換関数 σ バーの値がゼロから離間しつつある状態を示す。

【0179】

ステップS122において、リミッタによるリミッタ処理を実施し、目標空燃比偏差kcmdを求める。ステップS124に進み、目標空燃比偏差kcmdに基準値FLAF/BASEを加算し、目標空燃比KCMDを求める。前述したような、基準値FLAF/BASEを設定する場合には、ステップS124の次に該設定処理を実施することができる。

【0180】

本発明は、クランク軸を鉛直方向とした船外機などのような船舶推進機用エンジンにも適用が可能である。

【0181】

【発明の効果】

この発明によると、触媒の劣化から区別して、排ガスセンサの故障を検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 この発明の一実施例に従う、内燃機関およびその制御装置を概略的に示す図。

【図 2】 この発明の一実施例に従う、触媒装置および排ガスセンサの配置を示す図。

【図 3】 この発明の一実施例に従う、空燃比制御の概要を示す図。

【図 4】 この発明の一実施例に従う、空燃比制御の制御ブロック図。

【図 5】 この発明の一実施例に従う、制御器の詳細な機能ブロック図。

【図 6】 この発明の一実施例に従う、応答指定型制御における切換直線を概略的に示す図。

【図 7】 この発明の一実施例に従う、応答指定型制御における応答特性を示す図。

【図 8】 この発明の一実施例に従う、第 1 のデシメーションフィルタのブロック図。

【図 9】 排ガスセンサ出力の周波数応答が、触媒の劣化の程度に応じて変化する様子を示す図。

【図 1 0】 フィルタリングされた排ガスセンサ出力の周波数応答が、触媒の劣化の程度に応じて変化する様子を示す図。

【図 1 1】 この発明の一実施例に従う、第 1 のデシメーションフィルタのローパスフィルタのフィルタ特性を示す図。

【図 1 2】 この発明の一実施例に従う、（a）第 1 のデシメーションフィルタを用いた場合の O₂ センサ出力のフィルタリング値、（b）（c）他のフィルタを用いた場合の O₂ センサ出力のフィルタリング値を示す図。

【図 1 3】 図 1 2 の（b）の場合に用いられる他のローパスフィルタのフィルタ特性を示す図。

【図 1 4】 図 1 2 の（c）の場合に用いられる他のローパスフィルタのフィルタ特性を示す図。

【図 1 5】従来の空燃比制御における、O₂センサ出力におけるケミカルノイズの出現および目標空燃比偏差kcmdの変動の一例を示す図。

【図 1 6】この発明の一実施例に従う、第 1 のデシメーションフィルタの出力Vo_{2_df}、および目標空燃比偏差kcmdの推移の一例を示す図。

【図 1 7】この発明の他の実施例に従う、空燃比制御の制御ブロック図。

【図 1 8】この発明の他の実施例に従う、第 2 のデシメーションフィルタのブロック図。

【図 1 9】この発明の他の実施例に従う、第 2 のデシメーションフィルタのローパスフィルタのフィルタ特性を示す図。

【図 2 0】従来の空燃比制御における、LAFセンサ出力の分解能不足、目標空燃比偏差kcmdの変動、および同定パラメータb₁の推移の一例を示す図。

【図 2 1】この発明の他の実施例に従う、第 2 のデシメーションフィルタの出力KACT_df、および目標空燃比偏差kcmdの推移の一例を示す図。

【図 2 2】この発明の他の実施例に従う、空燃比制御の制御ブロック図。

【図 2 3】この発明の他の実施例に従う、制御器の機能ブロック図。

【図 2 4】この発明の他の実施例に従う、DSMコントローラの機能ブロック図。

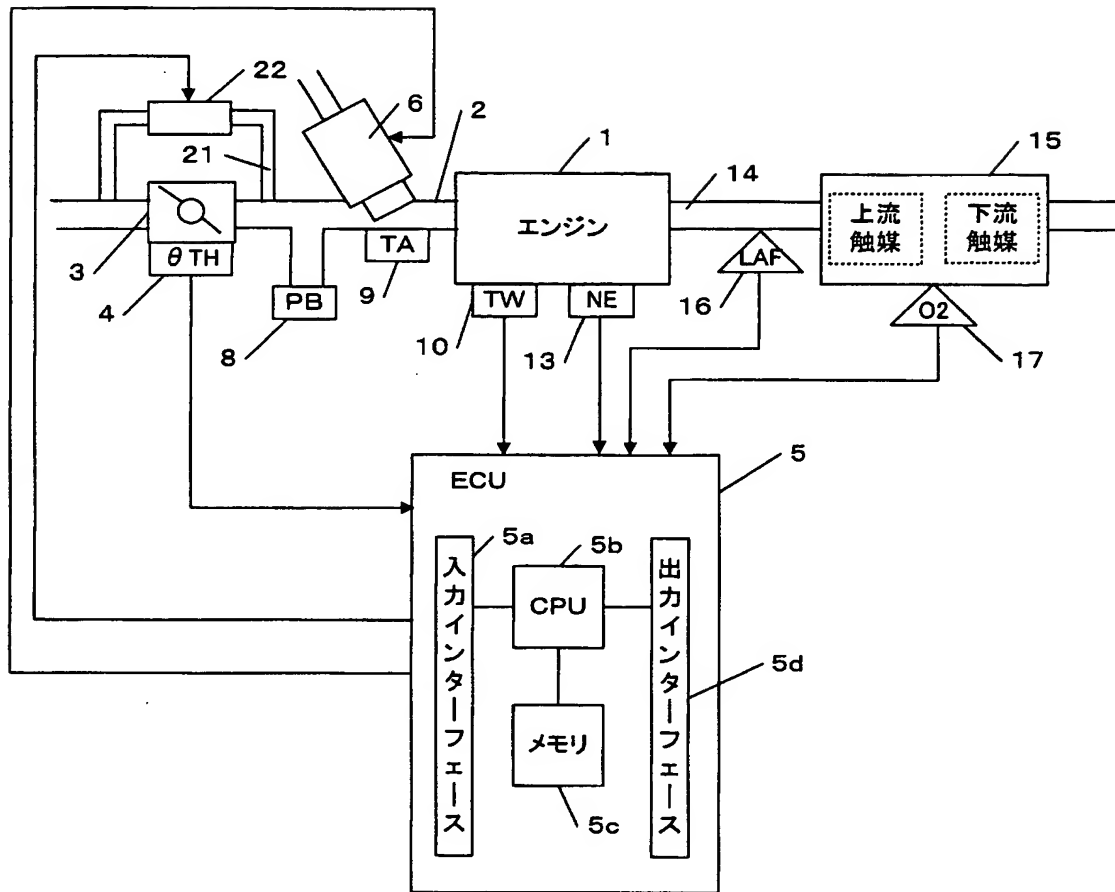
【図 2 5】この発明の他の実施例に従う、適応空燃比制御のメインルーチンを示すフローチャート。

【符号の説明】

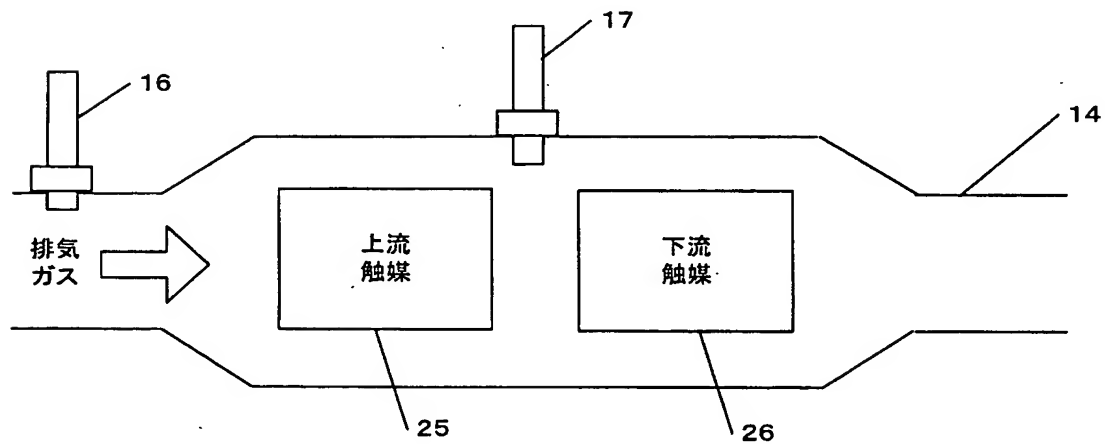
- 1 エンジン
- 5 ECU
- 14 排気管
- 15 触媒装置
- 17 O₂センサ
- 25 上流触媒
- 26 下流触媒

【書類名】 図面

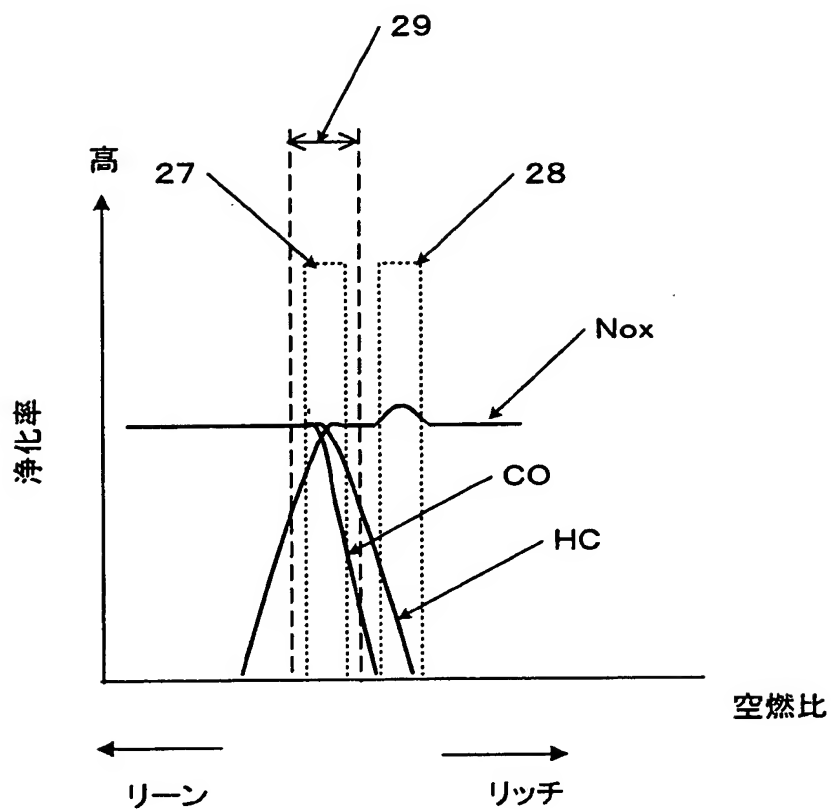
【図 1】



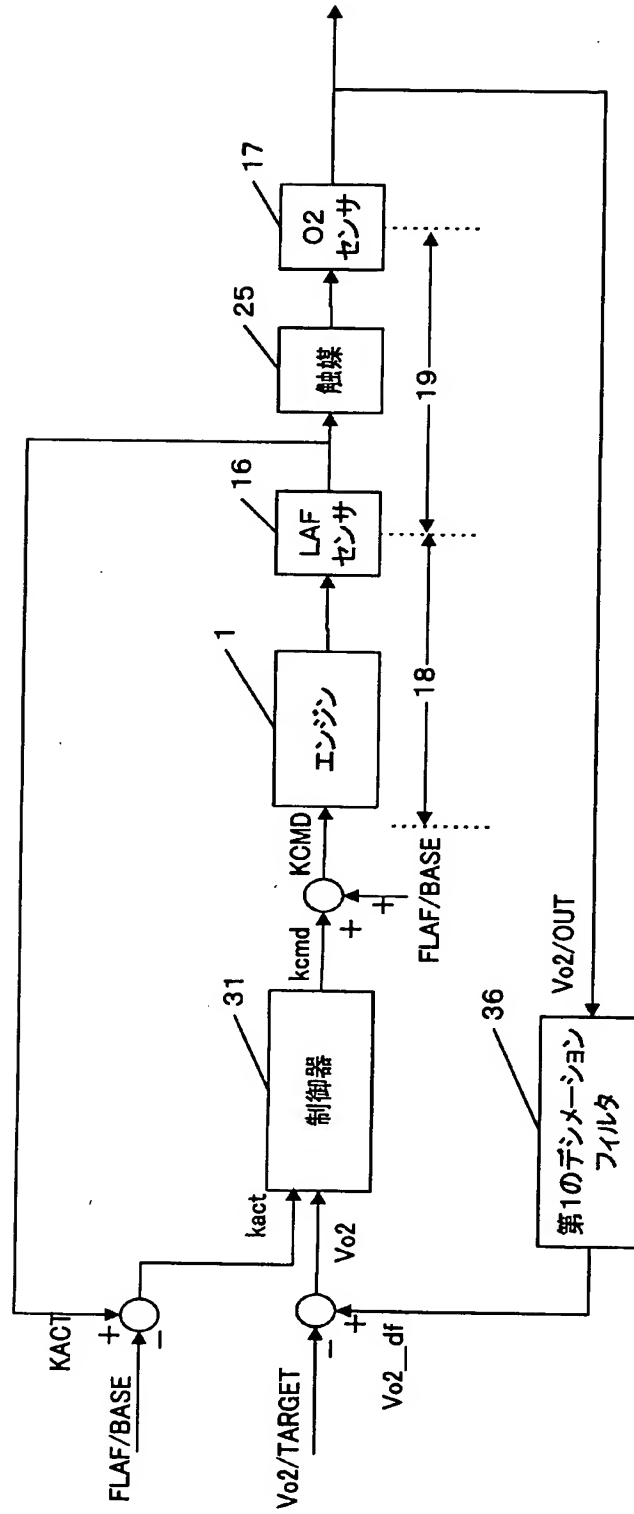
【図 2】



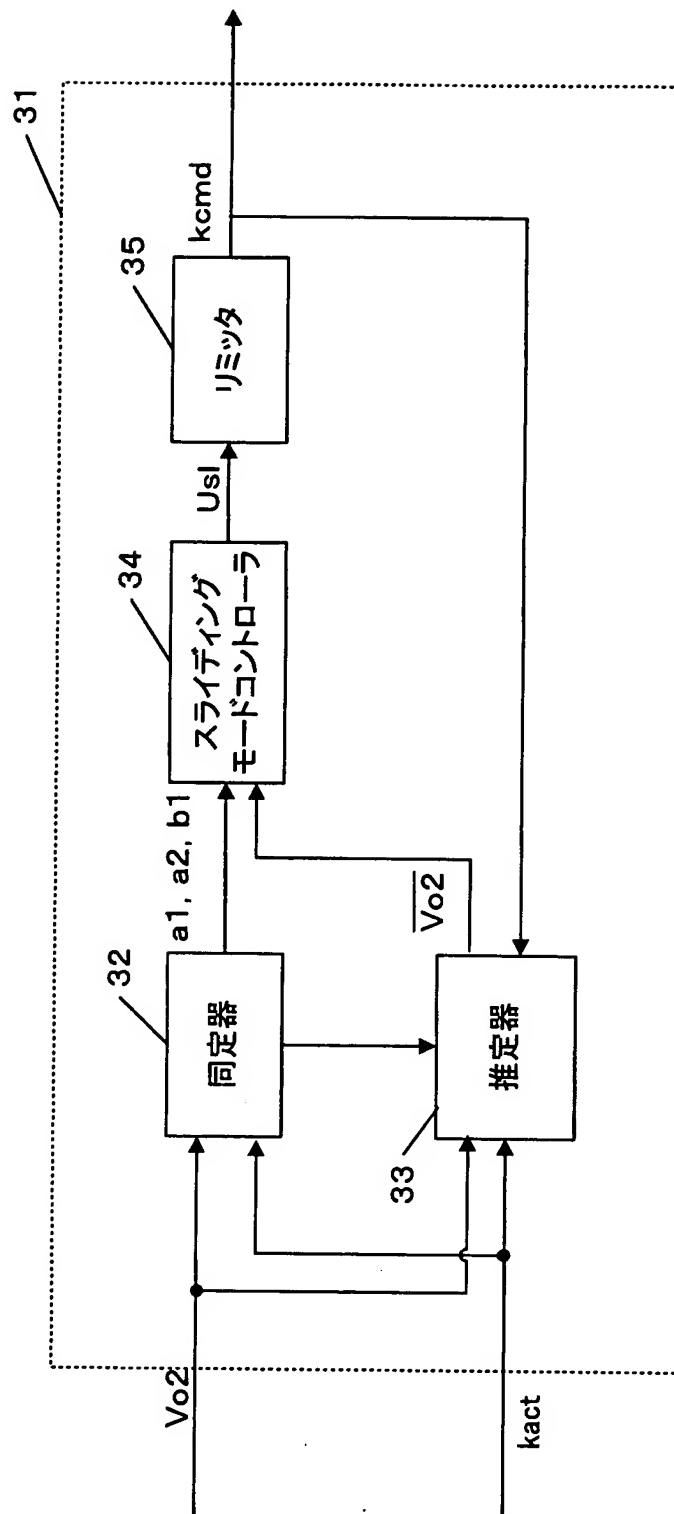
【図 3】



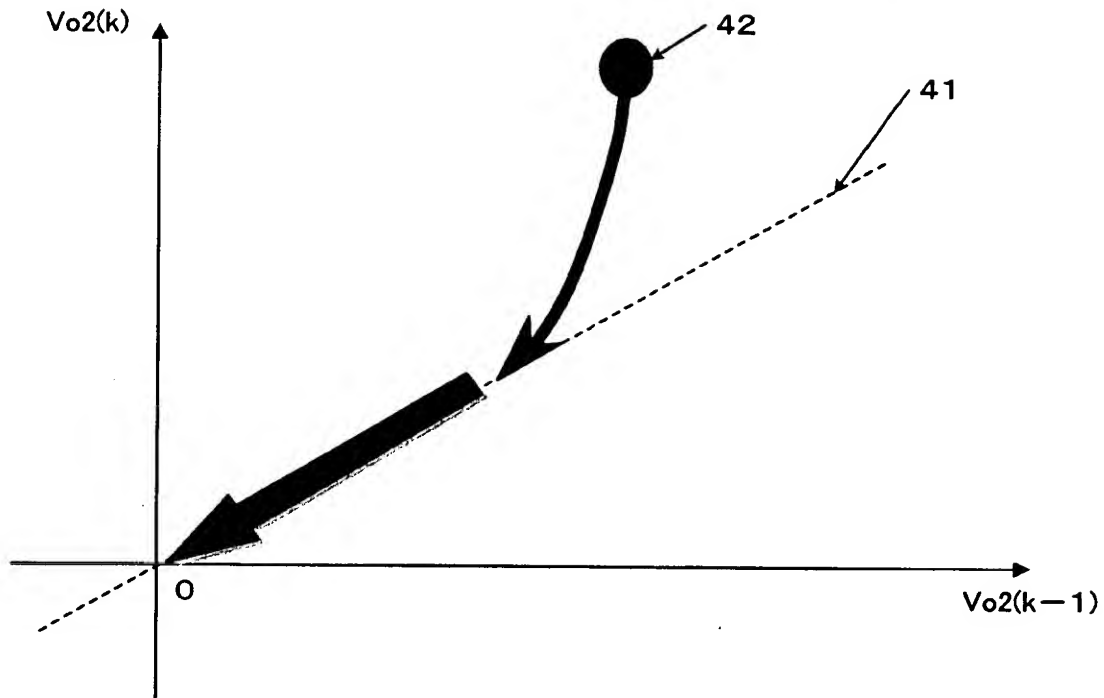
【図4】



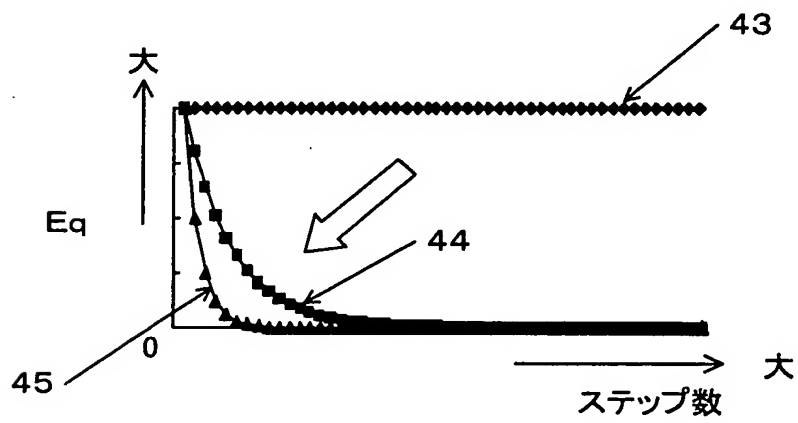
【図5】



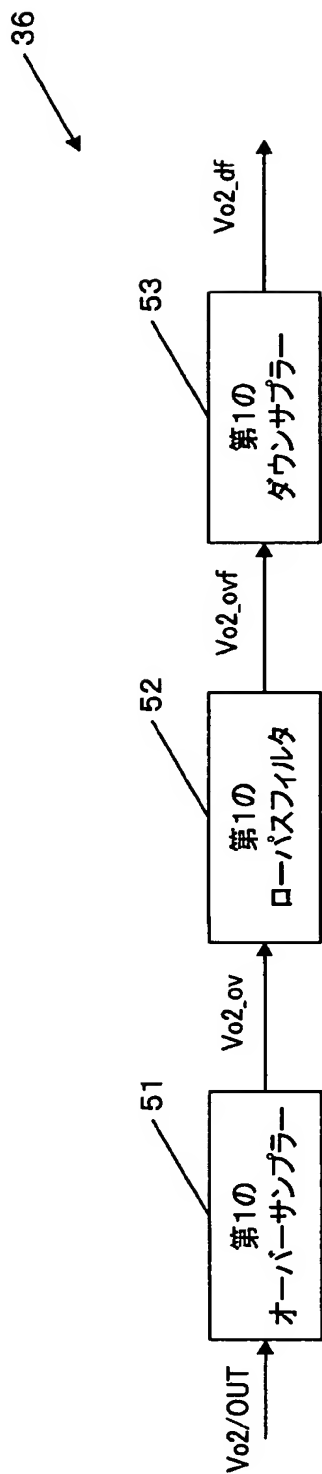
【図 6】



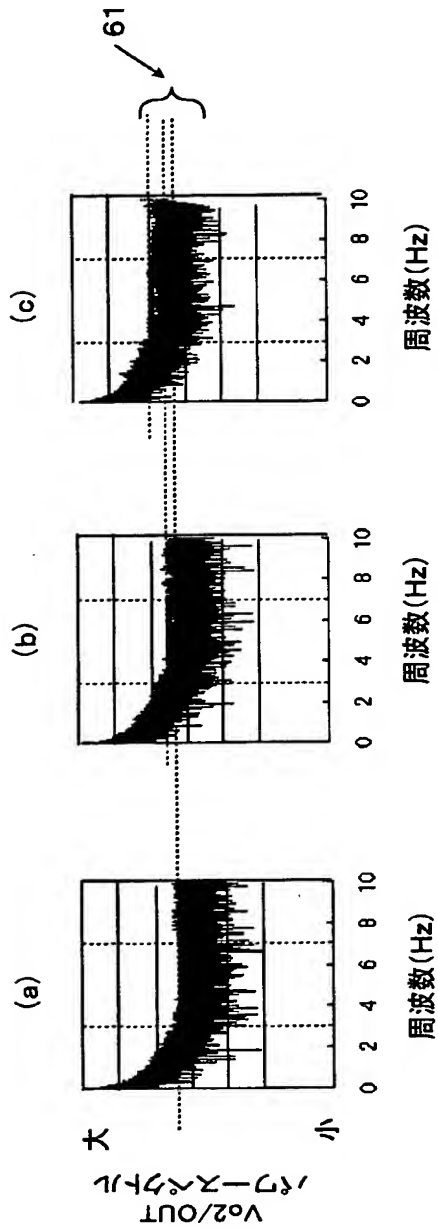
【図 7】



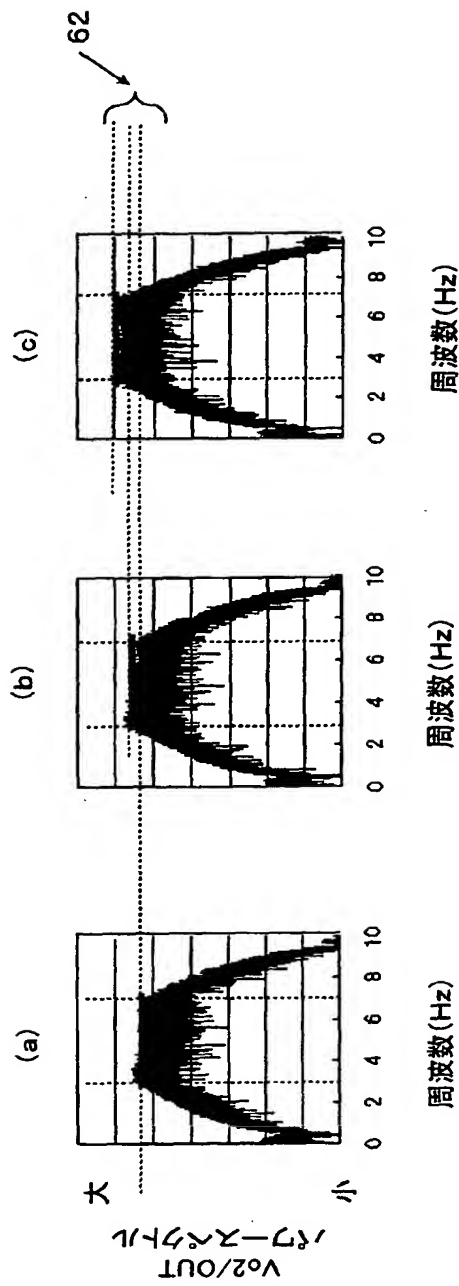
【図 8】



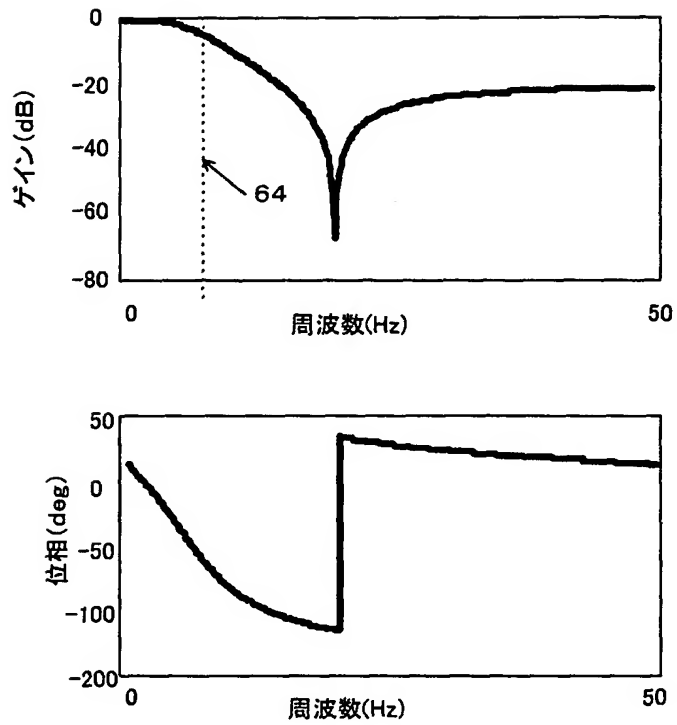
【図 9】



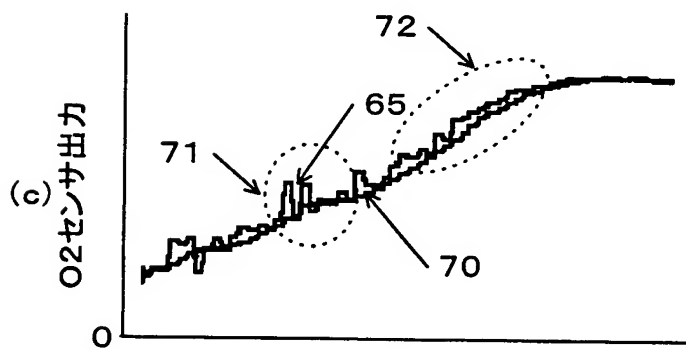
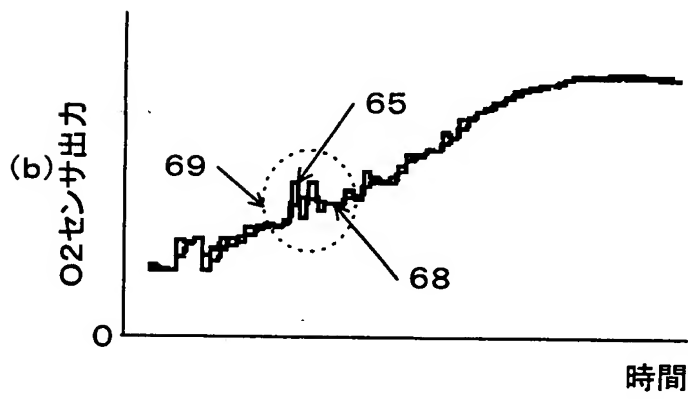
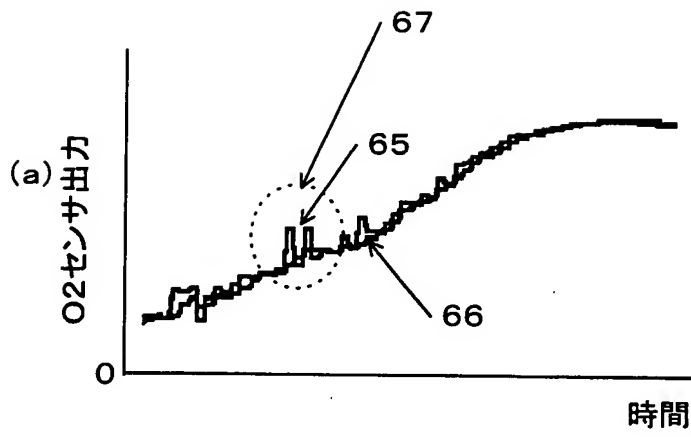
【図10】



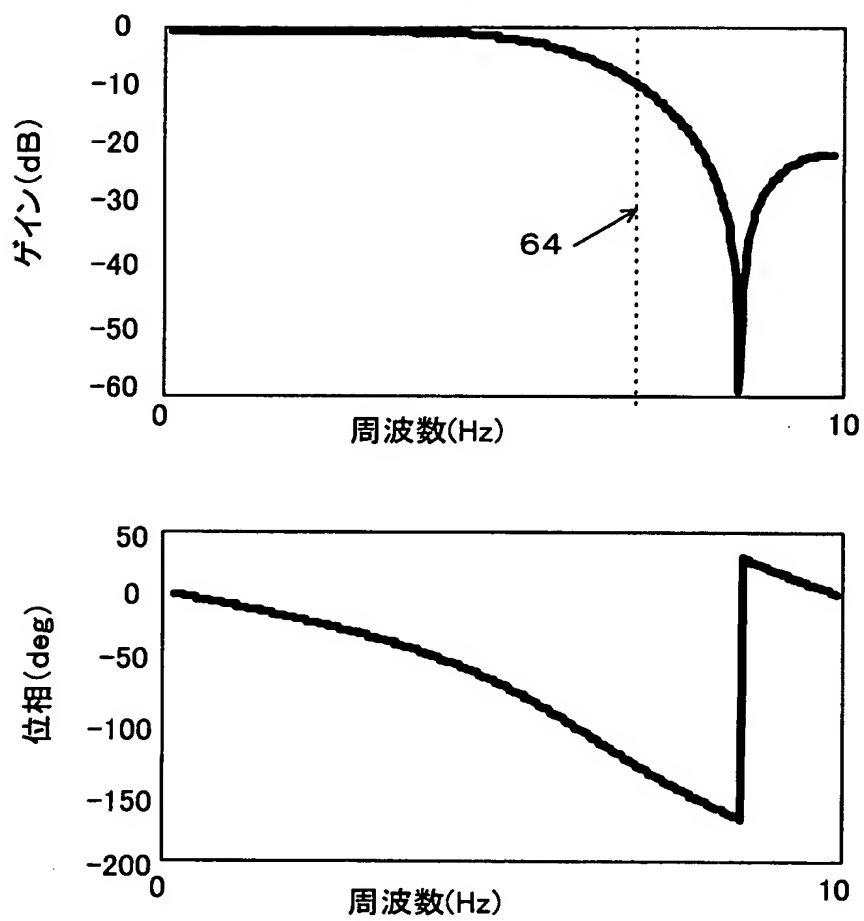
【図 1 1】



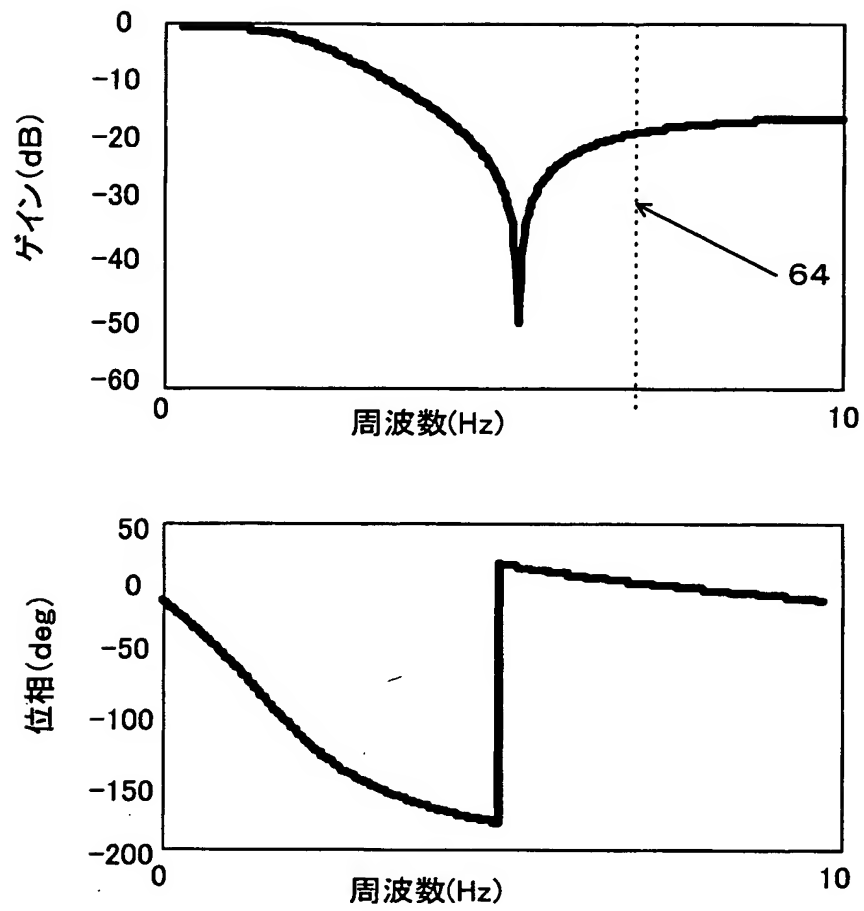
【図 1 2】



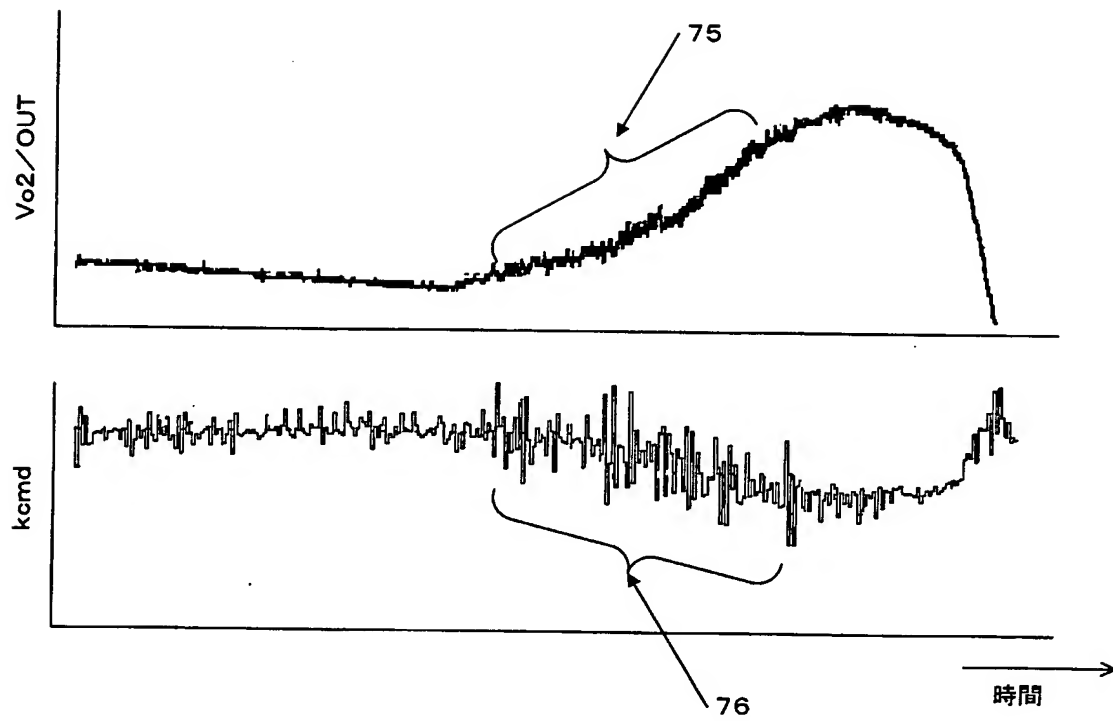
【図 1 3】



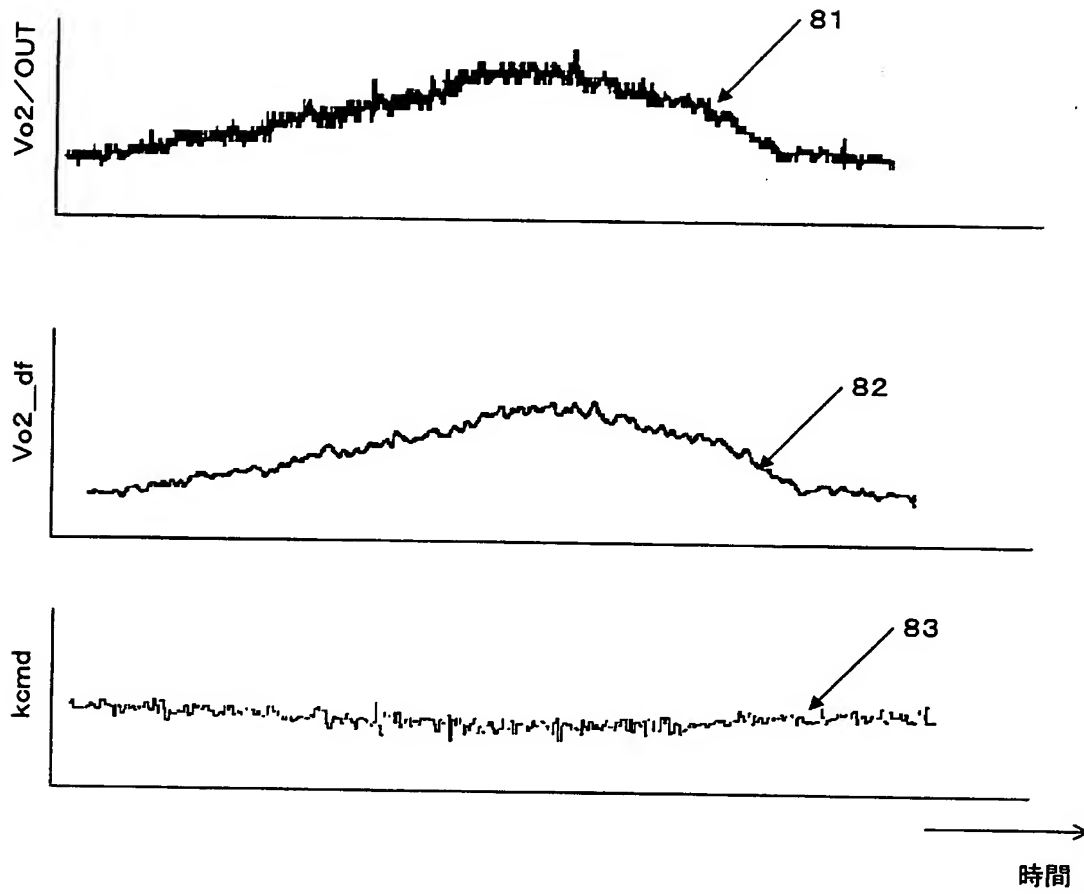
【図 1 4】



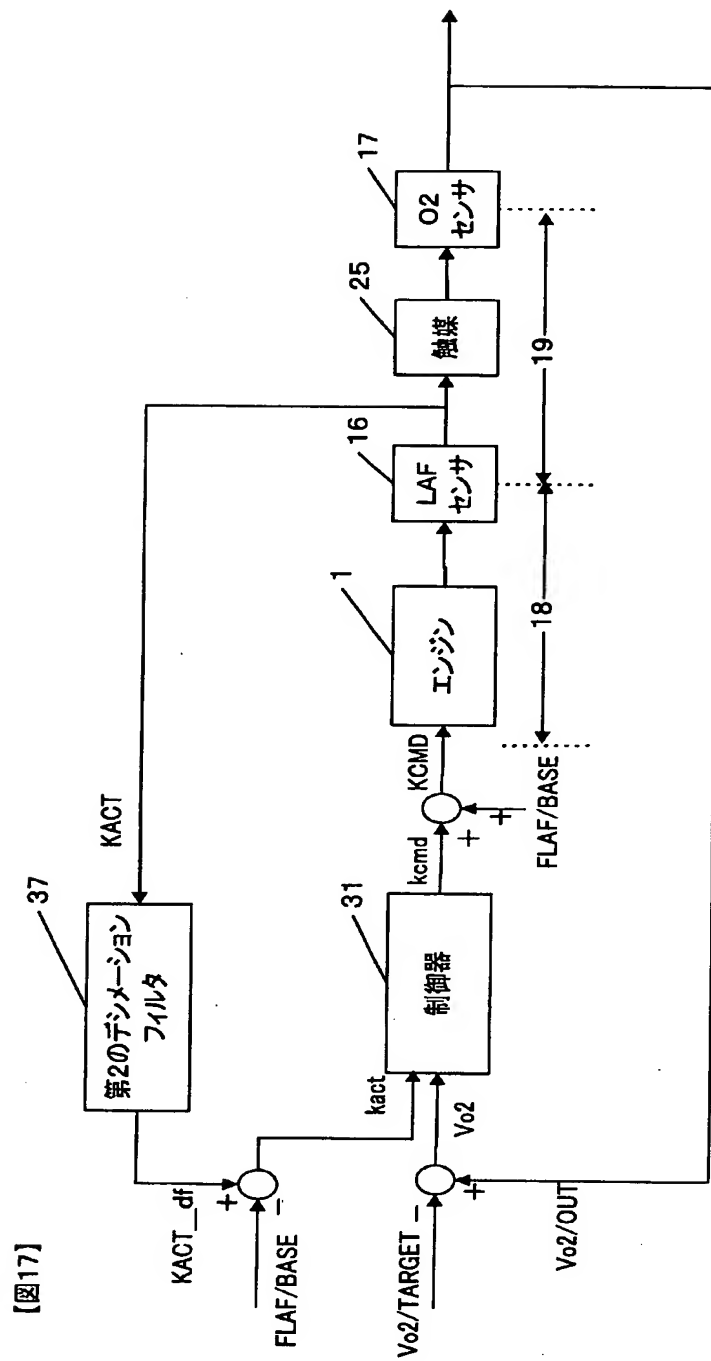
【図15】



【図16】

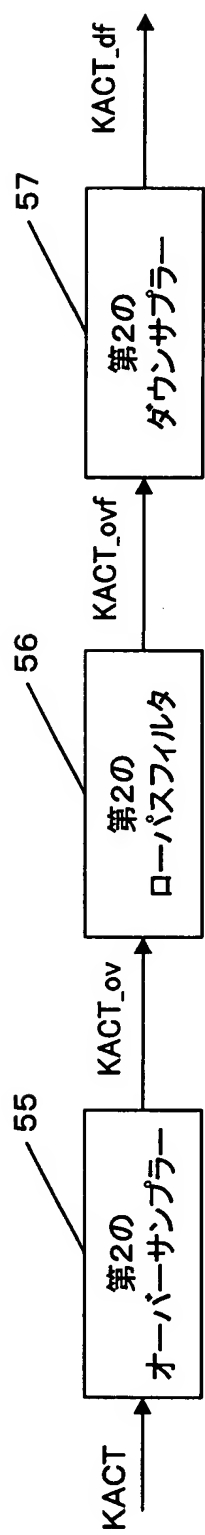


【図 17】

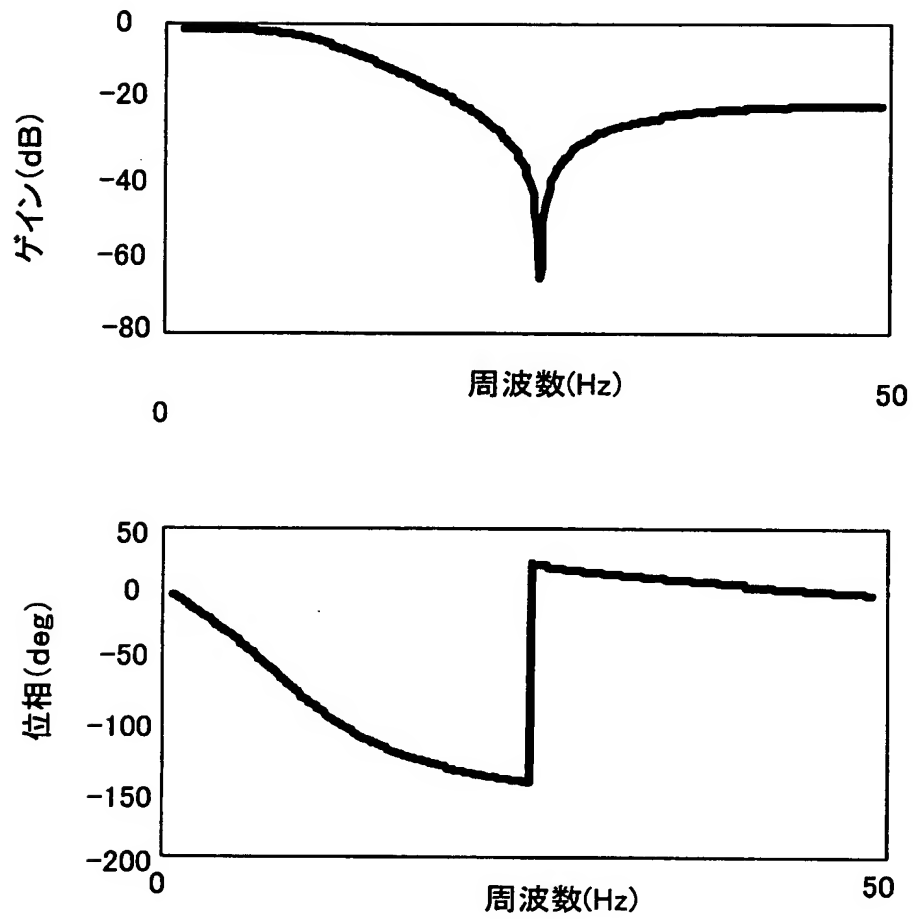


【図 17】

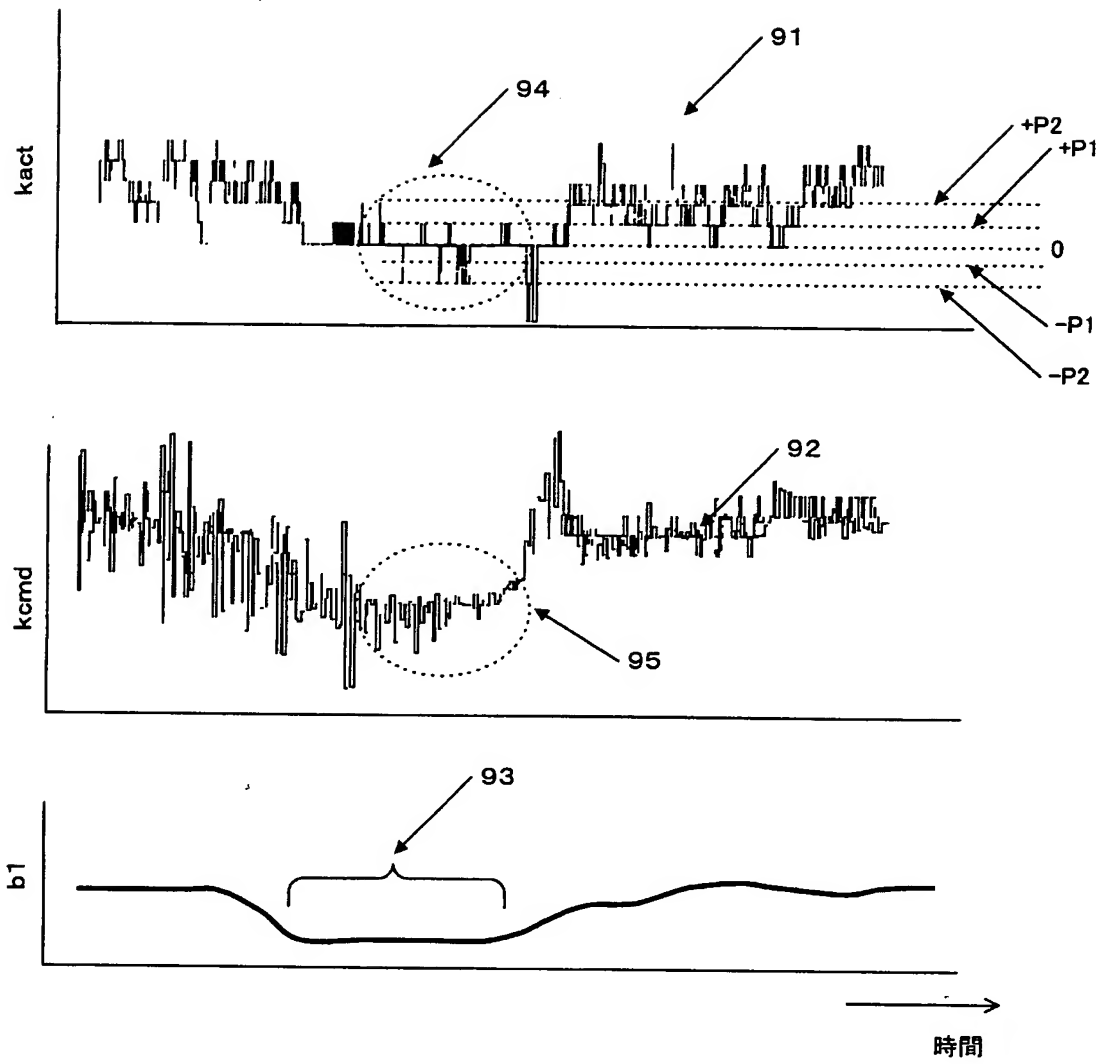
【図 1 8】



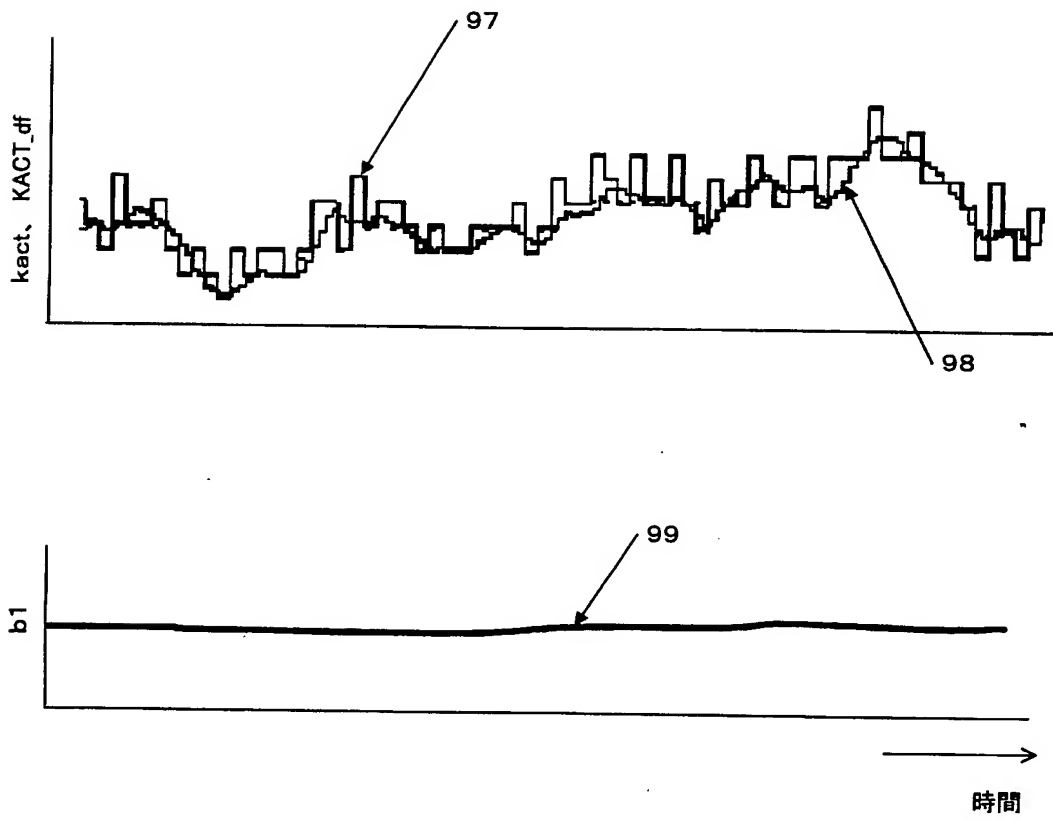
【図 1 9】



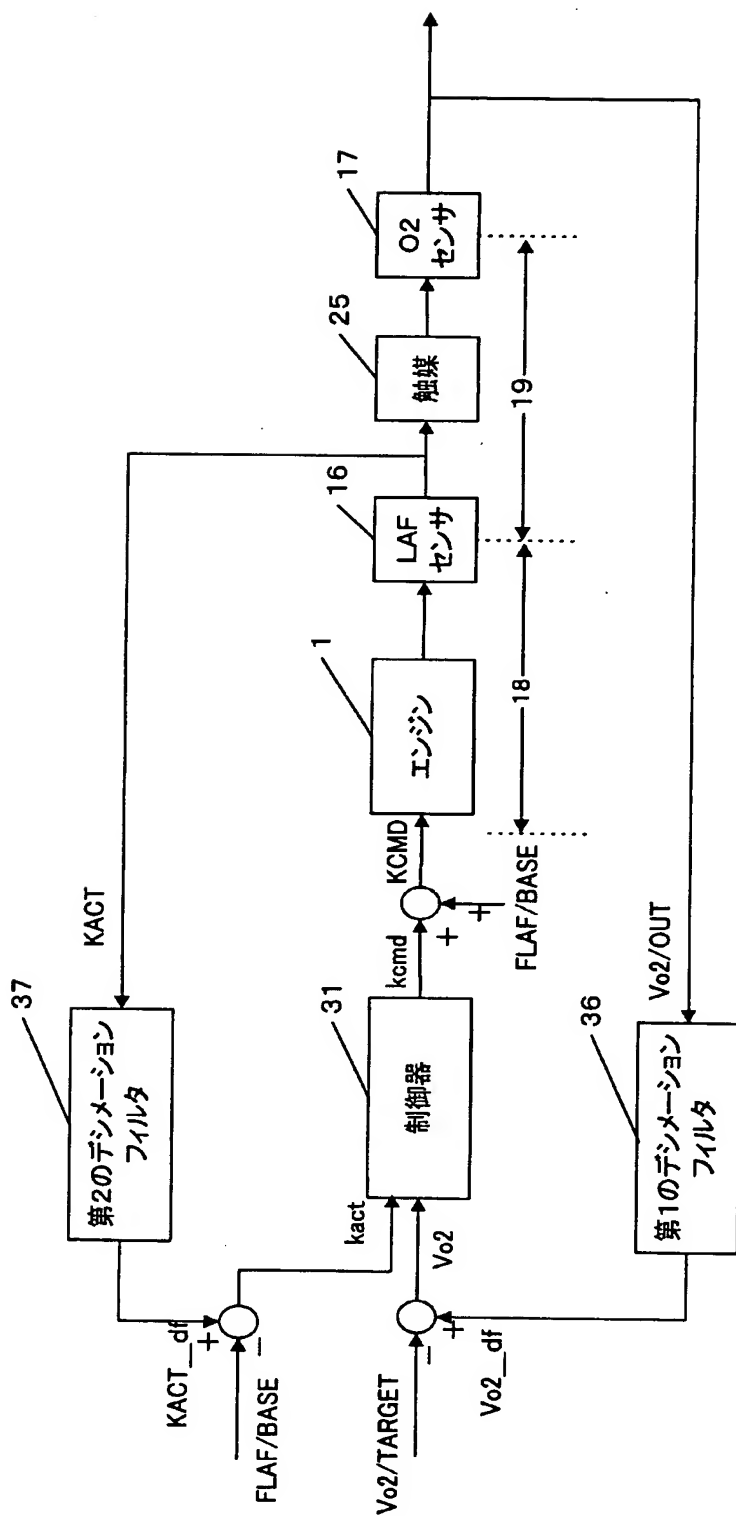
【図 20】



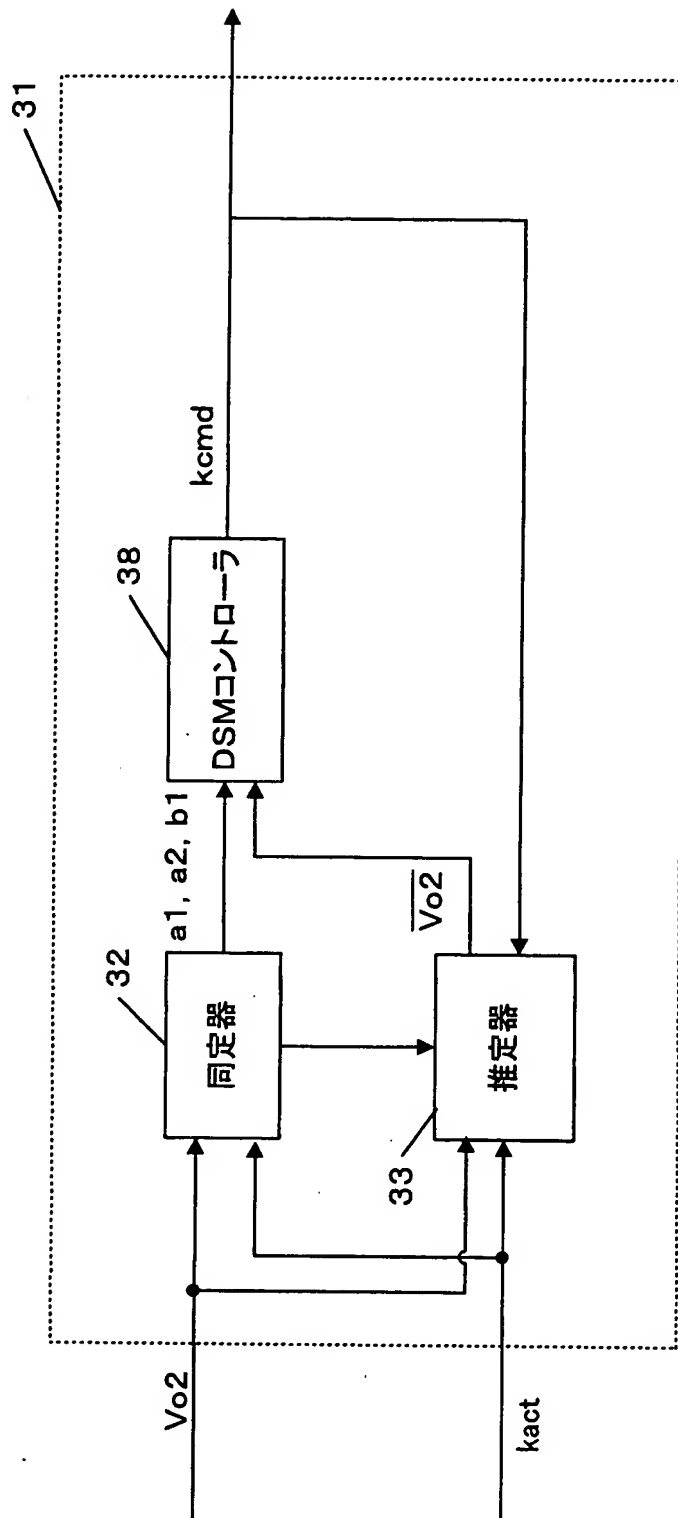
【図21】



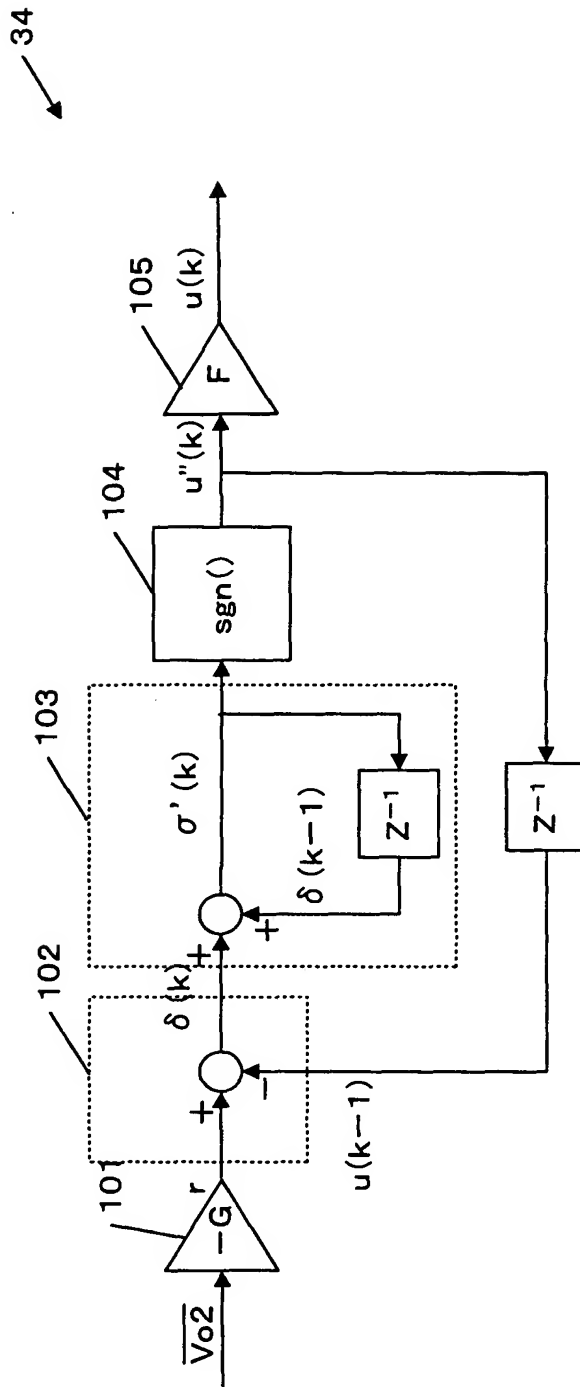
【図22】



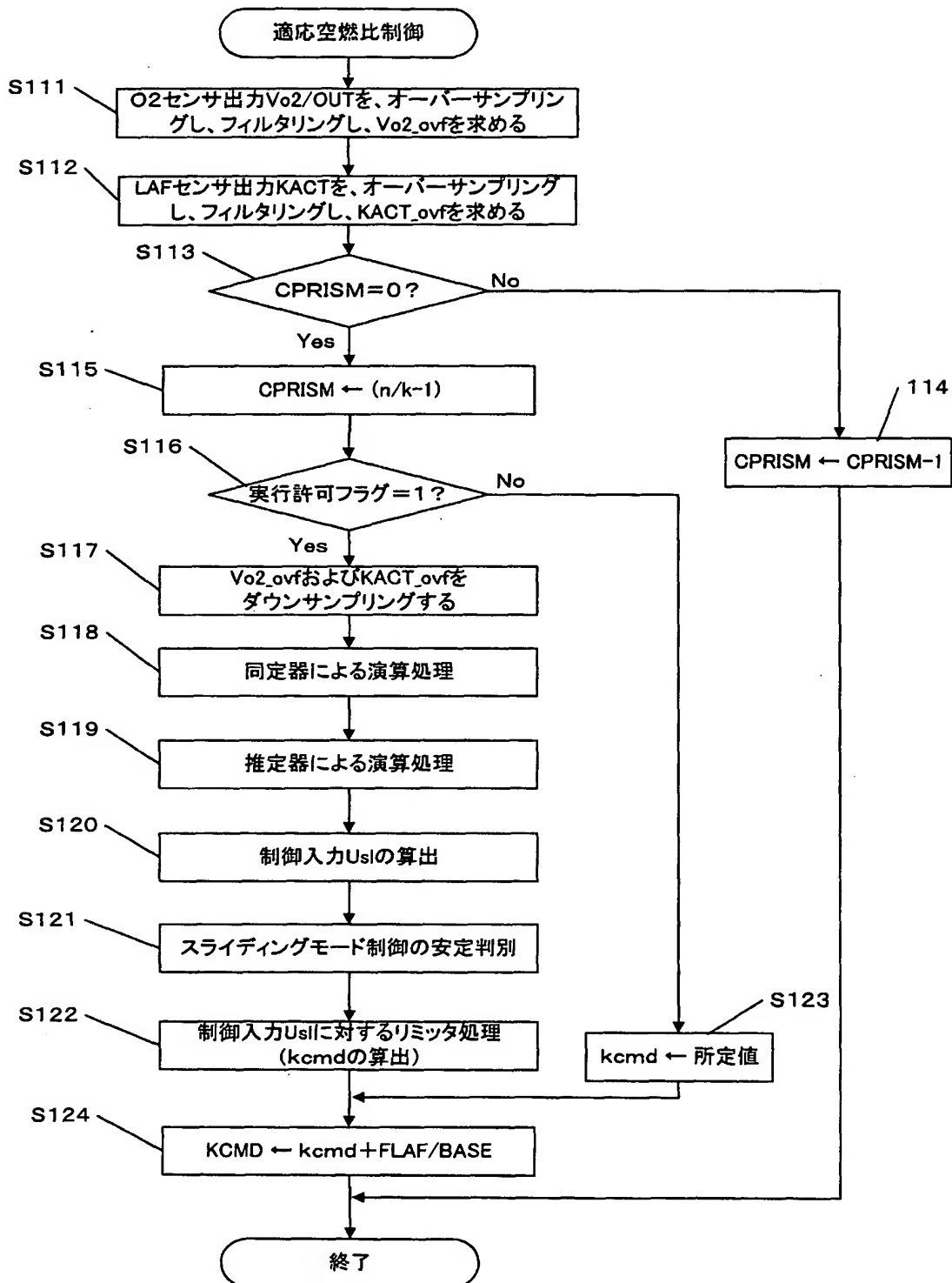
【図 23】



【図 2 4】



【図 25】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 排ガスセンサの出力におけるケミカルノイズを低減し、空燃比センサの分解能不足を補償する。

【解決手段】 空燃比制御装置は、排ガスの濃度を検出する排ガスセンサと、触媒装置の上流側に設けられ、排ガスの空燃比を検出する空燃比センサと、排ガスセンサの出力に接続されたデシメーションフィルタと、空燃比センサの出力に接続されたデシメーションフィルタを備える。制御装置は、第1および第2のデシメーションフィルタから出力された値を用いて、排ガスセンサの出力が目標値に収束するよう、空燃比を操作する操作量を決定する。第1および第2のデシメーションフィルタは、操作量を算出する周期よりも速い周期で、排ガスセンサおよび空燃比センサの出力を、それぞれオーバーサンプリングし、ローパスフィルタで平滑し、操作量を算出する周期でリサンプリングする。

【選択図】 図 2 2

【書類名】 手続補正書

【提出日】 平成14年 9月24日

【あて先】 特許庁長官 殿

【事件の表示】

 【出願番号】 特願2002-234045

【補正をする者】

 【識別番号】 000005326

 【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100081721

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 岡田 次生

 【電話番号】 03-5276-2591

【整理番号】 H102149201

【手続補正 1】

 【補正対象書類名】 特許願

 【補正対象項目名】 発明者

 【補正方法】 変更

 【補正の内容】

 【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

 【氏名】 安井 裕司

 【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

 【氏名】 岩城 喜久

 【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研

究所内

【氏名】 新庄 章広

【その他】 本願願書作成時に発明者の欄に、安井裕司氏、岩城喜久氏および新庄章広氏の3名を記載すべきところを、岩城喜久氏と新庄章広氏の記載を失念したまま、安井裕司氏1名で出願した。これは、意図したものではなく代理人の過誤によるものである。また、提出する宣誓書から安井裕司氏、岩城喜久氏および新庄章広氏の3名が本願特許出願の真正の発明者であることが明らかである。以上の事情に鑑み、発明者の変更を認めていただくようお願いする次第であります。

【プルーフの要否】 要

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-234045
受付番号	50201425772
書類名	手続補正書
担当官	鈴木 紳 9764
作成日	平成14年12月 3日

<認定情報・付加情報>

【補正をする者】

【識別番号】 000005326

【住所又は居所】 東京都港区南青山二丁目1番1号

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】 申請人

【識別番号】 100081721

【住所又は居所】 東京都千代田区九段南3丁目2番7号 NE九段
ビル5階 岡田・伏見特許事務所

【氏名又は名称】 岡田 次生

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日 1990年 9月 6日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都港区南青山二丁目1番1号
氏 名 本田技研工業株式会社